Le cause della crisi dell'olivo in Italia

Le Scienze

Luglio 2015

€ 4,50

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

Settant'anni con l'atomica

16 luglio 1945: nel deserto del New Mexico esplode il primo ordigno nucleare. Dando il via a una corsa agli armamenti che non si è ancora fermata

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA RIVISTA MENSILE - NUMERO 563

Fisica

I segreti delle particelle che tengono insieme la materia

Paleontologia

Origini ed evoluzione della famiglia dei tirannosauri

9 770036 808000 50563

TU E FASTWEB.
SIAMO LA FIBRA CHE VOLA.

Dentro la nostra Fibra scorrono i tuoi pensieri,
i tuoi sogni, i tuoi progetti e il tuo lavoro, ecco perché ti diamo sempre
la connessione internet più veloce possibile.

FASTWEB
un passo avanti

IN COPERTINA

Il rischio di una guerra nucleare è ancora reale, a settant'anni dall'esplosione del primo ordigno atomico. Le potenze nucleari non smantellano gli arsenali e altri paesi potrebbero entrare nel club della bomba. (Foto: Everett Collection/Contrasto)

Sommario

luglio 2015 numero 563

AGRICOLTURA

68 **La crisi dell'olivo**

di Anna Rita Longo e Lisa Signorile

Parassiti e malattie, favoriti da incuria e disinformazione, sono i fattori determinanti della crisi produttiva di olio in Italia, un problema che investe equilibri economici e ragioni culturali

NUCLEARE

34 **Settant'anni con la bomba**

di Flavio Parozzi e Franco Polidoro

Nel 1945 esplodeva il primo ordigno atomico. Da allora il mondo deve affrontare i rischi di una proliferazione nucleare militare che può sfruttare la diffusione a scopo civile delle tecnologie legate all'atomo

PROBLEMI GLOBALI

44 **Tre minuti a mezzanotte**

di Giovanni Spataro

Le lancette di un orologio immaginario gestito da scienziati indicano che l'umanità non è molto lontana da una catastrofe senza appello

FISICA DELLE PARTICELLE

46 **La colla che ci tiene insieme**

di Rolf Ent, Thomas Ullrich e Raju Venugopalan

Da decenni i fisici sanno che le particelle chiamate gluoni mantengono integri protoni e neutroni, e quindi tengono insieme l'universo. Tuttavia i dettagli di come agiscono i gluoni sono ancora sorprendentemente misteriosi

PALEONTOLOGIA

54 **L'ascesa dei tirannosauri**

di Stephen Brusatte

Nuovi fossili raccontano una storia diversa di *Tyrannosaurus rex*

INFORMATICA

62 **Alla ricerca di una nuova macchina**

di John Pavlus

L'epoca della legge di Moore è alla fine e i produttori di microchip spendono miliardi per sviluppare nuove tecnologie informatiche

BIOLOGIA

74 **Chiacchiere cellulari**

di Dale W. Laird, Paul D. Lampe e Ross G. Johnson

Cellule vicine si scambiano informazioni molecolari attraverso canali che le collegano in modo diretto. La compromissione di questo sistema di segnalazione può portare a una serie di disturbi, dalla perdita dell'udito a malattie cardiache

MEDICINA

82 **Risolvere la maledizione dell'Alzheimer**

di Gary Stix

Alcune famiglie della Colombia, portatrici di una rara mutazione genetica che causa la malattia, sono al centro delle ricerche di una cura

OCEANOGRAFIA

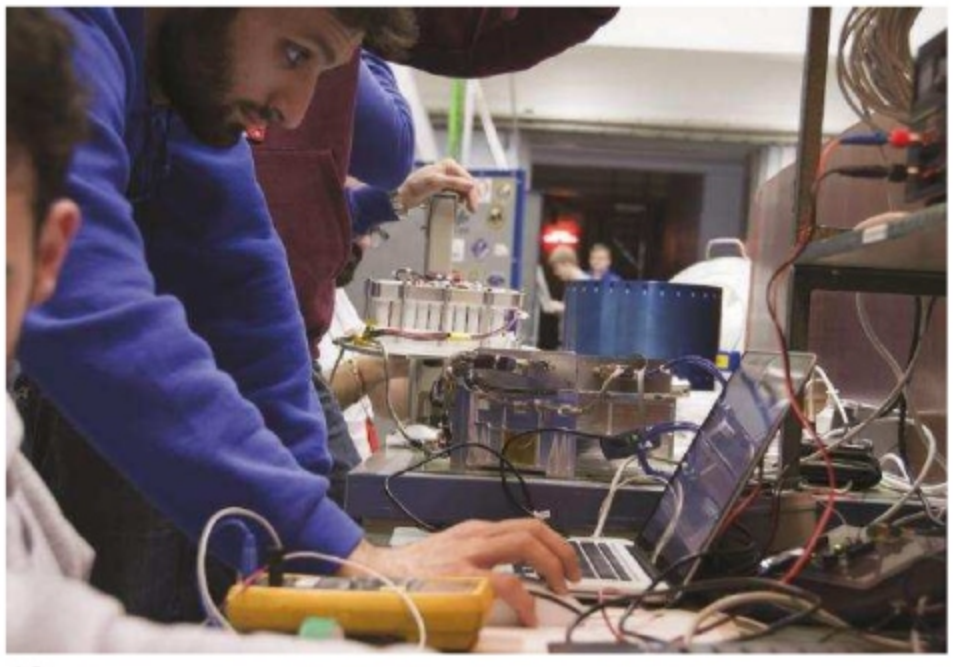
90 **Onde distruttive**

di Mark Harris

Gli scienziati inseguono impressionanti cavalloni che frantumano il ghiaccio artico, con effetti climatici ed ecologici di ampia portata

Atlantide Phototravel/Corbis

Sommario



12

22

105

Rubriche

7 Editoriale
di Marco Cattaneo

8 Anteprima

10 Lavori in corso

12 Intervista
Giovani italiani nello spazio europeo
di Massimiliano Razzano

14 Made in Italy
Al servizio della ricerca *di Letizia Gabaglio*

16 EXPOsed. L'Expo messa a nudo
L'OGM che non ti aspetti *di Beatrice Mautino*

18 Scienza e filosofia
Einstein, scienziato e filosofo *di Elena Castellani*

19 Appunti di laboratorio
La vita secondo Dawkins *di Edoardo Boncinelli*

20 Il matematico impertinente
L'eredità matematica di Nash *di Piergiorgio Odifreddi*

21 La finestra di Keplero
Ritratto di Plutone *di Amedeo Balbi*

22 Homo sapiens
Il dilemma del parente stretto *di Giorgio Manzi*

97 Coordinate
Guida genetica agli uccelli *di Sarah Lewin*

98 Rudi matematici
Angoli da smussare
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

100 Libri & tempo libero

104 Povera scienza
I credenti della Terra cava *di Paolo Attivissimo*

105 Pentole & provette
Il limoncello senza segreti *di Dario Bressanini*

SCIENZA NEWS

25 Sette saggi per la scienza europea
26 Come si spengono le galassie
26 Spremuta di gatto per computer quantistici
27 L'origine degli eucarioti
27 Un DNA a sei basi?
28 I tre padri neolitici dei maschi europei
28 Un cugino di Lucy
28 Proteggersi dall'estinzione attraverso il sesso
29 Tutta la diversità del plancton
29 L'impronta digitale dei batteri umani
30 L'altra geometria delle cellule a griglia
30 Le capacità analogiche che precedono lo sviluppo del linguaggio
31 L'effetto vicino delle emissioni
31 Sempre più cemento e asfalto in Italia
32 Brevissime

Cortesia PHOS Team (*in alto*); cortesia Yohannes Haile-Selassie (*al centro*); Oxana Denezhkina/Shutterstock (*in basso*)

Allianz

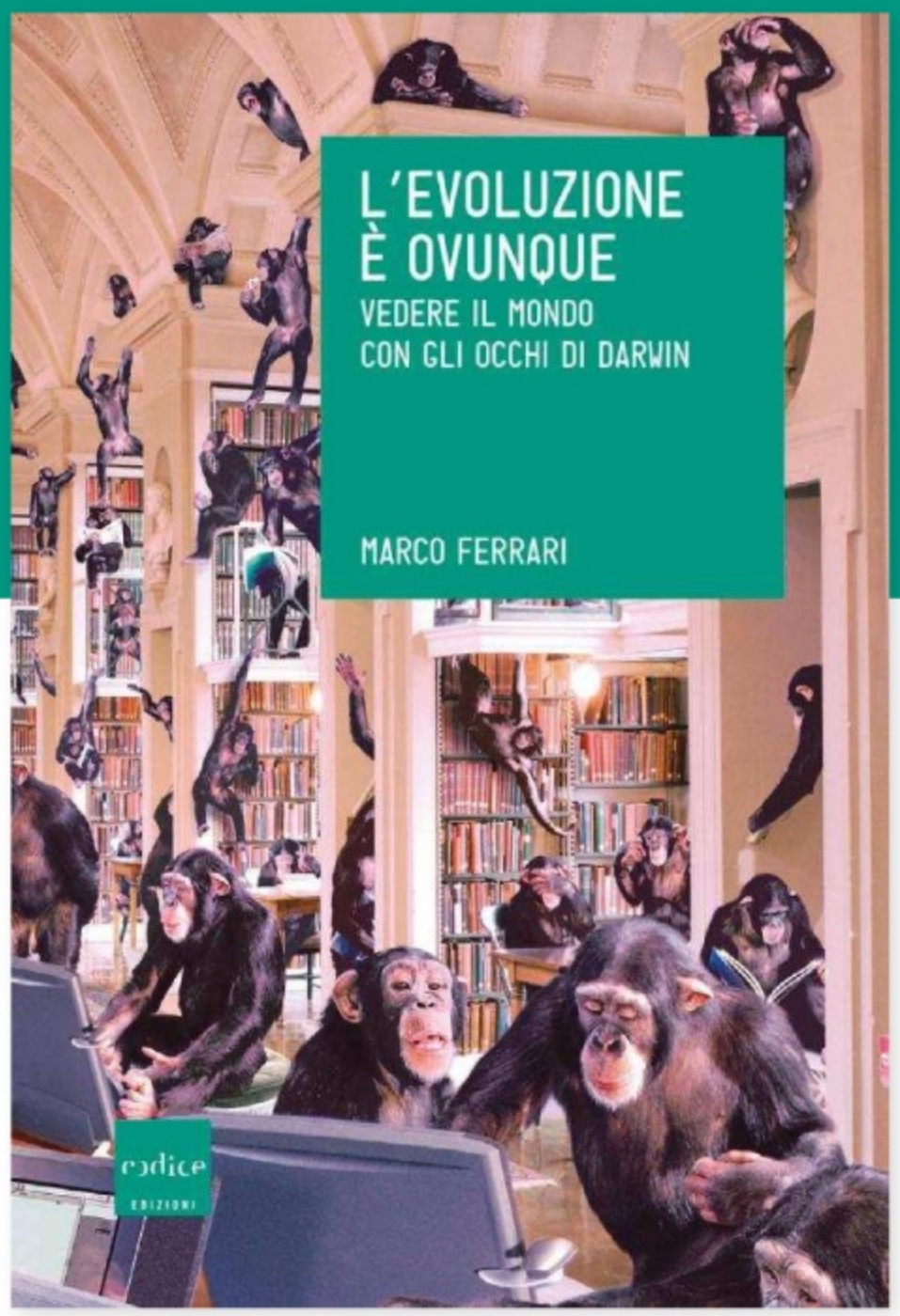
Anche quest'anno Allianz è l'RC Auto numero 1 in Italia.

L'Istituto Tedesco Qualità e Finanza ha riconosciuto ad Allianz
il primato assoluto nell'RC Auto, confermando anche nel 2015
il riconoscimento "Migliore RC Auto Agenzia"
per soddisfazione dei clienti in tutte le categorie.

Scegli il meglio, vieni a trovarci in agenzia o vai su allianz.it

allianz.it

AVVERTENZA: Messaggio pubblicitario con finalità promozionale. Prima della sottoscrizione leggere il fascicolo informativo disponibile in agenzia e su allianz.it



MARCO FERRARI

L'EVOLUZIONE È OVUNQUE

VEDERE IL MONDO CON GLI OCCHI DI DARWIN

pp. 240 | 16,00 euro

COS'HANNO IN COMUNE IL PROGETTO DI UN'ANTENNA DELLA NASA, LA MEDICINA, L'AGRICOLTURA E LA MUSICA?

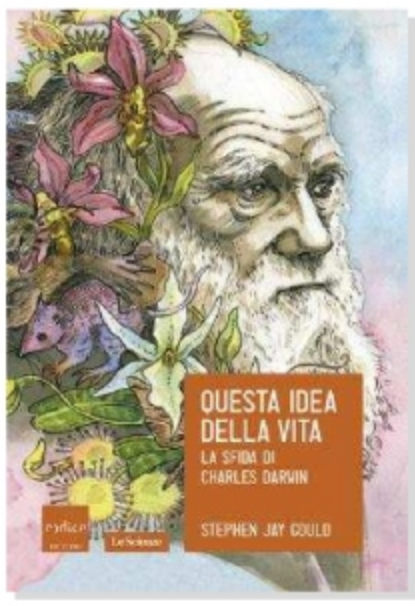
Uno sguardo inedito sulla teoria dell'evoluzione, l'idea potente e universale che ha rivoluzionato le scienze della vita.

STEPHEN JAY GOULD

UN RICCIO NELLA TEMPESTA

SAGGI SU LIBRI E IDEE

pp. 320 | 21,00 euro



STEPHEN JAY GOULD

QUESTA IDEA DELLA VITA

LA SFIDA DI CHARLES DARWIN

pp. 288 | 17,90 euro

EDWARD O. WILSON

IL SIGNIFICATO DELL'ESISTENZA UMANA

pp. 192 | 14,90 euro

DANIEL LIEBERMAN

LA STORIA DEL CORPO UMANO

EVOLUZIONE, SALUTE E MALATTIA

pp. 328 | euro 27,00

info@codiceedizioni.it
codiceedizioni.it

facebook.com/in.codice
twitter.com/codice_codice
pinterest.com/codice_codice

codice EDIZIONI

di Marco Cattaneo

La bomba, e non solo

Arsenali atomici e clima mettono a rischio l'umanità

Proprio mentre scrivo queste righe, il «Bulletin of the Atomic Scientists» pubblica un interessante e provocatorio articolo di Dan Drollette Jr., giornalista e corrispondente statunitense che ha collaborato anche con «Scientific American». Drollette invita a guardare con neutralità alla situazione mediorientale, e in particolare ai programmi nucleari di Iran e Israele. Denunciando, tra l'altro, che a fronte di un programma militare iraniano ipotizzato ma mai dimostrato, ce n'è uno israeliano altrettanto clandestino, inconfessato e che gli analisti stimano abbia già prodotto un arsenale di circa 80 ordigni atomici.

Il 16 luglio 1945, ad Alamogordo, in New Mexico, esplodeva la prima bomba atomica della storia. Era il Trinity Test, la prova generale delle bombe che di lì a poco sarebbero state sganciate su Hiroshima e Nagasaki provocando un numero di vittime complessivamente stimato tra 129.000 e 246.000. Subito dopo sarebbe cominciata la corsa agli armamenti, culminata negli anni terribili della caccia alle streghe e della guerra fredda per cominciare a declinare nel 1970, con l'entrata in vigore del Trattato di non proliferazione (TNP).

Il 10 dicembre 1945, invece, iniziavano le pubblicazioni del «Bulletin of the Atomic Scientists», divenuto popolare a partire dal 1947 per il *Doomsday Clock*, l'orologio dell'Apocalisse. Nei settant'anni trascorsi da quando «i fisici hanno conosciuto il peccato», per usare le parole di J. Robert Oppenheimer, l'attività di vigilanza della rivista sulle armi nucleari è sempre stata un punto di riferimento per chi voleva aggiornarsi sull'evoluzione degli scenari geopolitici in questo campo.

Oggi, tra i paesi che aderiscono al TNP e quelli che non vi aderiscono, si stima che siano presenti testate nucleari in 14 nazioni: Stati Uniti, Russia, Regno Unito, Francia, Cina, India, Pakistan, Corea del Nord e Israele, che le hanno sviluppate in proprio; ma anche Germania, Paesi Bassi, Belgio, Italia e Turchia, che partecipano alla politica di condivisione nucleare della NATO.

Con il passare del tempo le preoccupazioni di possibili guerre con armi atomiche si sono spostate dallo scontro tra i due blocchi che hanno caratterizzato la seconda metà del Novecento ad altre regioni del mondo. Oggi si guarda con maggiore apprensione proprio al Medio Oriente, i cui già fragili equilibri si sono fatti ancora più precari con la Primavera araba e il conflitto siriano. Ma anche alla mai sopita rivalità tra India e Pakistan e alle periodiche minacce della Corea del Nord. A cui si aggiungono ora le nuove tensioni tra Russia e Stati Uniti per la questione ucraina.

Weird NJ/Splash News/Corbis

Oggi il Doomsday Clock segna tre minuti alla mezzanotte. Non solo per il pericolo di un olocausto nucleare, ma anche o forse soprattutto per il cambiamento climatico provocato dalle attività umane, che è a sua volta causa di tensioni, conflitti e migrazioni epocali, come illustra bene anche l'enciclica di papa Francesco.

Non sarebbe poi una cattiva idea adoperarsi per tirarle un po' indietro, quelle lancette. In un modo o nell'altro.

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Christof Koch
docente di biologia cognitiva e comportamentale, California Institute of Technology

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Ernest J. Moniz
docente, Massachusetts Institute of Technology

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
professore associato filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

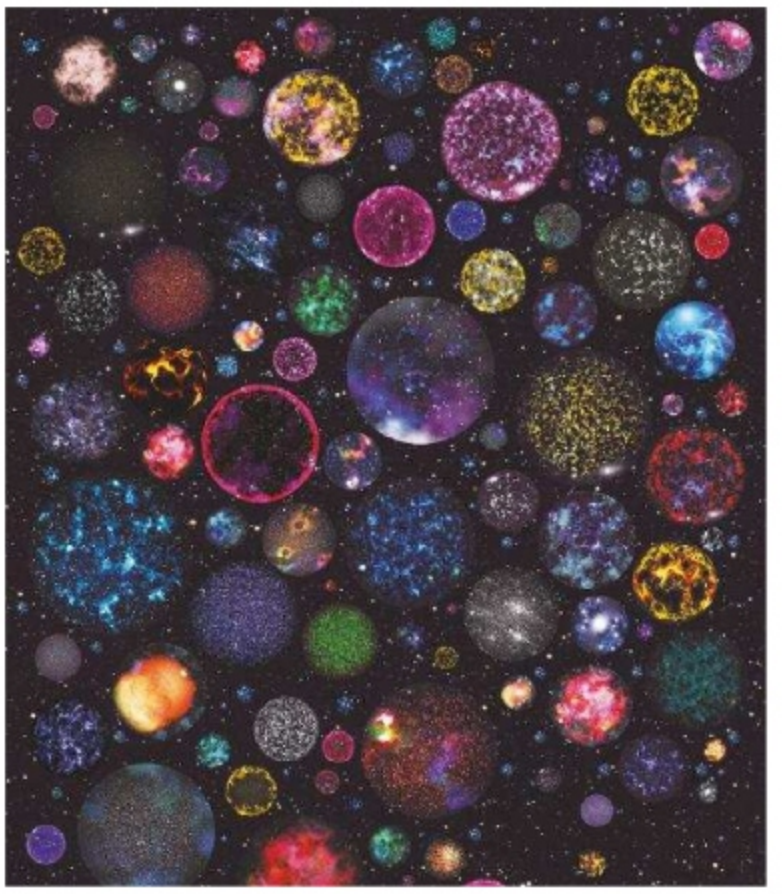
Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

La cultura del mondo dei quanti

Ad agosto *Ogni cosa è indeterminata,* di Robert Crease e Alfred Scharff Goldhaber

All'inizio fu una questione per soli scienziati, come spesso accade. Nel 1900, per spiegare fenomeni di emissione e assorbimento della radiazione elettromagnetica, il fisico tedesco Max Planck introdusse i quanti, ovvero pacchi discreti di energia, che permettevano di risolvere un problema che impegnava da tempo la comunità dei fisici. Era l'alba della meccanica quantistica, una delle teorie scientifiche più affascinanti e controintuitive di sempre, che tuttavia è indispensabile per descrivere il mondo atomico e subatomico. In effetti, negli anni successivi all'innovazione di Planck il concetto di quantizzazione fu di grande aiuto per esplorare il nuovo territorio della fisica atomica. Anche Albert Einstein nel 1905 se ne servì per spiegare l'effetto fotoelettrico, cioè l'emissione di elettroni da parte di una superficie metallica colpita con radiazione elettromagnetica. Poi però, verso la metà degli anni venti la meccanica quantistica uscì dai laboratori e dai taccuini dei teorici per conquistare anche la cultura del tempo, e così si inaugurò un rapporto tra diverse espressioni artistiche e mondo dei quanti che dura ancora oggi, come raccontano Robert Crease e Alfred Scharff Goldhaber in *Ogni cosa è indeterminata*, libro allegato a richiesta con «Le Scienze» di agosto e in vendita nelle librerie per Codice Edizioni.



Crease è un filosofo, Goldhaber è un fisico, entrambi lavorano alla statunitense Stony Brook University, dove hanno in comune un corso aperto a studenti di fisica e filosofia che verte sull'impatto culturale dei quanti. Il libro dunque riprende l'idea sviluppata negli anni dai due autori, secondo i quali fu tra il 1925 e il 1927 che le bizzarre conseguenze della meccanica quantistica divennero oggetto di curiosità e discussioni pubbliche. In quegli anni il tedesco Werner Heisenberg enunciò il suo principio di indeterminazione, in base a cui non è possibile conoscere simultaneamente con esattezza posizione e velocità di una particella – all'aumentare della precisione di una misurazione corrisponde una crescita nell'incertezza nell'altra. Sempre in quegli anni l'austriaco Erwin Schrödinger propose la sua funzione d'onda, che descrive la probabilità di trovare in un certa posizione una particella in termini di onda appunto, e il danese Niels Bohr ricavò il principio di complementarità, in base a cui il manifestarsi dell'aspetto corpuscolare o di quello ondulatorio di un fenomeno a scala atomica e subatomica non può essere osservato contemporaneamente in uno stesso esperimento.

In pratica fu l'annuncio del crollo del mondo osservato con le rassicuranti leggi fisiche elaborate qualche secolo prima da Isaac newton. O meglio, si era ormai giunti al punto in cui il solo Newton non bastava più per capire l'universo.

Una rivoluzione del genere non poteva non lasciare traccia nell'arte e più in generale nella società, e così è stato, anche in tempi recenti. Per esempio. per lo scrittore statunitense John Updike il mondo non aveva la geometria dolce dell'universo newtoniano, ma pareva piuttosto quella di una pentola d'acqua in ebollizione, indeterminata e incerta come la meccanica quantistica. O ancora, basta pensare alla popolarità nella cultura di massa degli universi paralleli, partoriti della mente del fisico statunitense Hugh Everett e di una sua interpretazione della meccanica quantistica che ammette l'esistenza di realtà parallele a quella in cui viviamo. O a David Foster Wallace, altro scrittore statunitense, che ha usato metafore e immagini della fisica quantistica per descrivere la nostra difficile esperienza di esseri umani.

Per non parlare del tentativo negli settanta di trovare un nesso tra implicazioni della meccanica quantistica, misticismo dell'antico Oriente e temi New Age, figli dell'irresistibile attrazione per l'inafferrabile mondo dei quanti.

RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono acquistare i volumi di **La Biblioteca delle Scienze** al prezzo di € 7,90 incluso il prezzo di spedizione e telefonando al numero 199.78.72.78 (0864.256266 chi chiama da telefoni non abilitati).

La stessa offerta è valida per acquistare i volumi della collana **I grandi della scienza** nella nuova edizione al prezzo di € 6,90 incluso il prezzo di spedizione.
Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa).

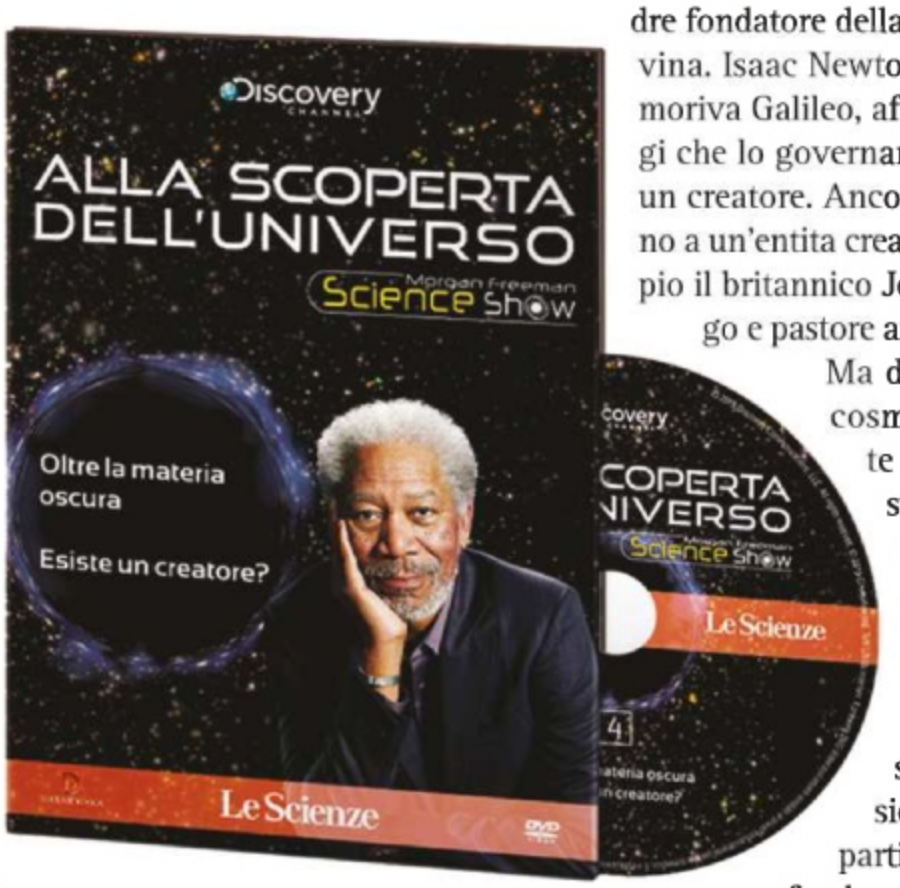
Mehau Kulyk/SPL/Contrasto

Luce sui lati oscuri del cosmo

A luglio a richiesta il quarto DVD della collana *Morgan Freeman Science Show*

I misteri del lato oscuro dell'universo e l'ipotesi di un creatore del cosmo sono i due argomenti protagonisti del quarto DVD della collana *Morgan Freeman Science Show. Alla scoperta dell'universo*, in edicola a luglio a soli 8,90 euro oltre al prezzo della rivista.

Da diversi decenni ormai, astronomi, astrofisici e fisici delle particelle sono alle prese con una forma di materia misteriosa che pervade l'universo ed è stata chiamata materia oscura. Nome più che meritato visto che questo tipo di materia non interagisce con la radiazione elettromagnetica e ne conosciamo l'esistenza solo grazie alla sua interazione gravitazionale con la materia ordinaria. In effetti, una delle prime solide prove venne ottenuta dall'astronoma statunitense Vera Rubin tra la fine degli anni sessanta e l'inizio degli anni settanta proprio studiando il comportamento delle stelle di alcune galassie. Per far tornare i conti riguardo alla velocità di quegli astri era stato necessario prevedere una massa di materia che però era invisibile ai telescopi.



Negli anni successivi le prove dell'esistenza di materia oscura sono diventate sempre più numerose, al punto che è ormai chiaro che senza di essa la formazione delle galassie e di tutto quello che ospitano, compresa la vita sulla Terra, sarebbe stata impossibile nell'universo dei primordi. E da misurazioni con satelliti sappiamo anche che per il 27 per cento l'universo è composto di materia oscura, contro il quasi cinque per cento della materia ordinaria. Le particelle da cui è composta questa materia invisibile sono ancora ignote, anche se i fisici hanno già provveduto a identificarle sulla carta. Ora manca solo la conferma dei numerosi esperimenti in corso, o magari la smentita che costringerà i ricercatori a tornare di nuovo alla lavagna e trovare altre soluzioni.

Tuttavia la vera protagonista della composizione dell'universo è l'energia oscura. Questa misteriosa energia è responsabile dell'espansione accelerata dell'universo attuale, e una delle prime prove della sua azione è stata scoperta alla fine degli anni novanta. Oggi sappiamo che quasi il 70 per cento del cosmo è composto da energia oscura e che in futuro molto lontano la sua spinta acceleratrice potrebbe disgregare l'universo, un po' come un telo che viene tirato contemporaneamente in ogni direzione.

La seconda parte del DVD è dedicata a un argomento che affascina e fa discutere fin dagli albori della scienza: il rapporto degli scienziati con un creatore del mondo che studiano. Già Galileo Galilei nel XVII secolo sosteneva che il linguaggio della natura, espresso in forma matematica e geometrica, e quello delle Sacre scritture non sono in contraddizione. E anche un altro padre fondatore della scienza credeva nell'azione divina. Isaac Newton, nato nel 1642, l'anno in cui moriva Galileo, affermava che l'universo e le leggi che lo governano sono il frutto della mente di un creatore. Ancora oggi alcuni scienziati credono a un'entita creatrice del cosmo, come per esempio il britannico John Polkinghorne, fisico, teologo e pastore anglicano.

Ma dai tempi di Galileo e Newton, cosmologia e fisica sono diventate molto più complicate. Oggi gli studiosi dell'universo devono fare i conti con l'inflazione, cioè un'improvvisa accelerazione nell'espansione del cosmo dei primordi, e con universi paralleli che potrebbero essersi generati dall'inflazione. I fisici devono affrontare uno zoo di particelle elementari e quattro forze fondamentali, le cui intensità sembrano fatte apposta per la nascita della vita. Il linguaggio matematico, come lo avrebbe definito Galileo, per descrivere tutto questo ha raggiunto ormai livelli di difficoltà ostiche anche per gli addetti ai lavori. Ma forse una risposta alla domanda su un creatore è nel nostro cervello. I neuroscienziati stanno studiando le basi biologiche della fede e della percezione di Dio, con qualche risultato che porta nuove domande ancora.

PIANO DELL'OPERA

1 Cosa è successo prima del Big Bang?
Siamo soli nell'Universo?

2 Si può viaggiare nel tempo?
Come siamo arrivati fin qui?

3 Di cosa siamo fatti?
L'enigma dei Buchi Neri

4 Oltre la materia oscura
Esiste un Creatore?

5 La particella di Dio
Cos'è il nulla?

6 Tempo e spazio infiniti?
Sopravvivremo alla fine del Sole?

a cura di Giovanni Spataro

Lampi di antimateria misteriosa

Rilevata la formazione di nuvole di antielettroni nel corso di un temporale

Il 21 agosto 2009 Joseph Dwyer, all'epoca al Florida Institue of Technology, era in volo con i colleghi al largo delle coste della Georgia, negli Stati Uniti. I ricercatori erano a caccia di raggi gamma generati nei temporali (si veda *Raggi gamma dalle nuvole* in «Le Scienze», n. 529, settembre 2012), quando hanno rilevato invece qualcosa, ma di molto particolare. Come illustrato ora sul «Journal of Plasma Physics», Dwyer ha registrato tre picchi di energia nei raggi gamma temporaleschi a 511 chiloelettronvolt: la firma dei processi di annichilazione tra elettroni e loro controparti nel mondo dell'antimateria, ovvero i positroni. Grazie all'analisi dei dati, Dwyer, oggi all'Università del New Hampshire, ha dedotto che il piccolo aeroplano si è trovato per breve tempo in mezzo o vicino a due nuvole di positroni, larghe un chilometro. Ma come si siano formate queste nubi è ancora un mistero.

In alto i mari

Sempre più su. Nell'ultimo decennio e oltre, il tasso di crescita dei mari è stato più elevato di quello di vent'anni fa.

Contrordine su uno degli effetti più pericolosi del cambiamento climatico. Contrariamente a quanto suggerito da studi passati basati su rilevazioni da satellite, la crescita dei mari è sempre più veloce (si veda *Riscaldamento globale: più veloce del previsto?* in «Le Scienze», n. 533, gennaio 2013). La cattiva notizia è stata pubblicata da Christopher Watson, dell'Università della Tasmania, su «Nature Climate Change». Watson ha prima effettuato una serie di rilevazioni del movimento verticale della terraferma, dovuto sia a fattori naturali come i movimenti tettonici sia a fattori antropici come l'estrazione di idrocarburi, servendosi della tecnologia GPS, poi ha combinato queste misurazioni con dati sui movimenti delle maree. Questo accoppiamento ha permesso allo scienziato di rielaborare i dati da satellite, identificando possibili inesattezze nella stima dei livelli dei mari.

I risultati hanno portato a una nuova stima dell'incremento medio dei livelli dei mari tra il 1993 e il 2014, che è stato rivisto al ribasso come valore assoluto: si è passati da 3,2 millimetri all'anno a 2,6-2,9 millimetri, sempre per anno. Tuttavia, i primi sette anni del periodo considerato, cioè dal 1993 al 1999, sono quelli che hanno ricevuto la correzione più consistente: 0,9-1,5 millimetri all'anno. Questo implica che nel periodo successivo considerato, dal 1999 al 2014, il tasso di crescita è stato più elevato rispetto agli anni 1993-1999.

Uccelli dei primordi

Due nuovi fossili scoperti in Cina spingono ancora più indietro nel tempo le nostre conoscenze sugli antenati degli attuali uccelli, emersi già al tempo in cui vivevano i dinosauri e discendenti di un gruppo di piccoli dinosauri carnivori (si veda *Vittoria alata* in «Le Scienze», n. 505, settembre 2010).

Antenato. Una ricostruzione di *Archaeornithura meemannae*, antenato degli uccelli attuali vissuto nel Cretacico inferiore.

Denominati *Archaeornithura meemannae* e presentati su «Nature Communications» da Min Wang dell'Accademia cinese delle scienze di Pechino, i fossili sono i più vecchi conosciuti di Ornithuromorpha, il ramo evolutivo che diede vita a tutte le specie di uccelli che osserviamo oggi. Sono stati scoperti nel bacino di Sichakou, nella provincia dello Hebei, nel nord-est della Cina.

La loro descrizione sottolinea un piumaggio quasi completo con caratteristiche anatomiche adatte al volo. Grandi come quaglie, gli esemplari di *A. meemannae* sono datati 130,7 milioni di anni fa, superando di sei milioni di anni il precedente record per fossili di Ornithuromorpha.

Test per radiazioni

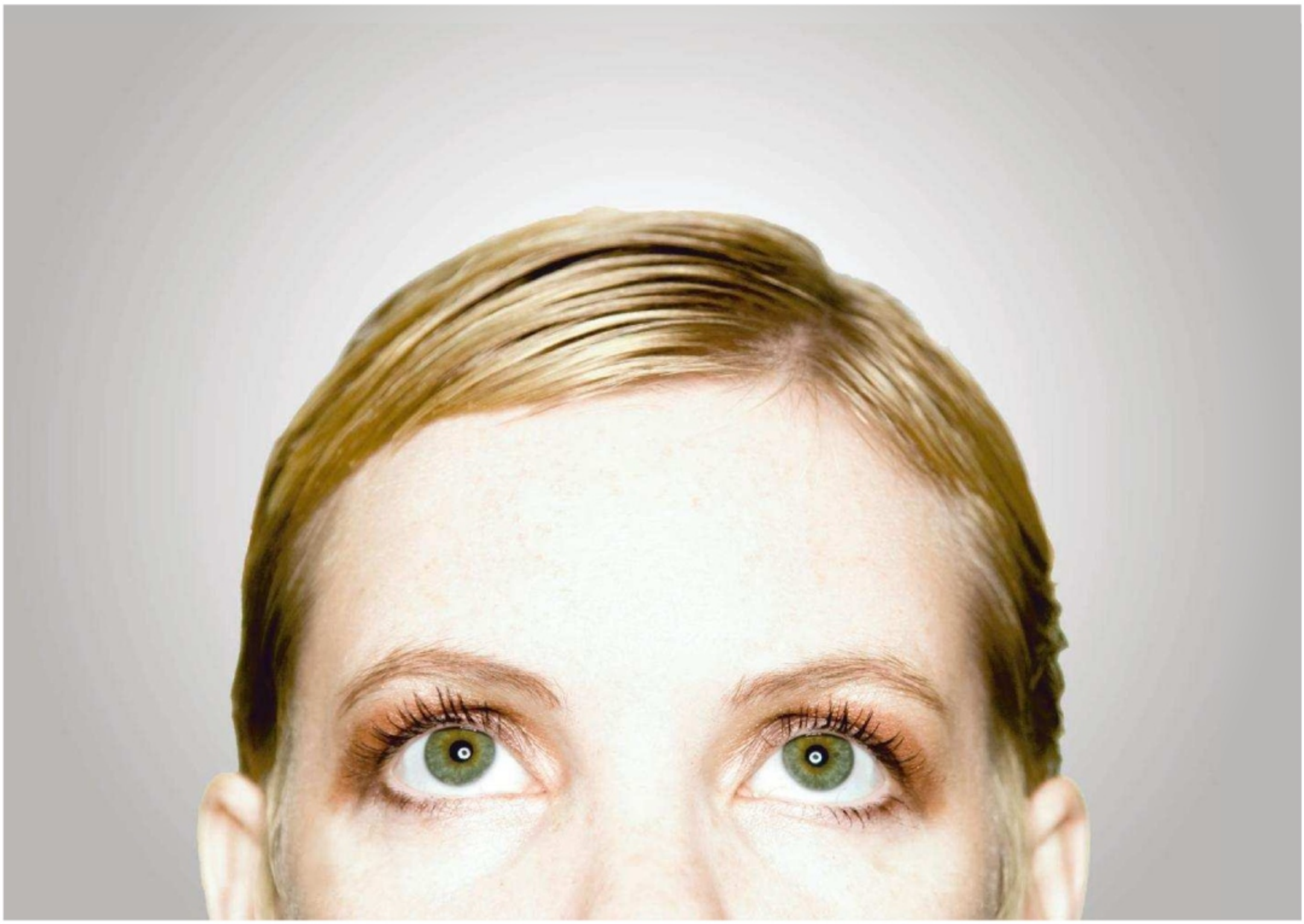
Nel malaugurato caso di incidente nucleare o di attacco terroristico con una «bomba sporca» le autorità sanitarie potrebbero stimare l'impatto biologico delle radiazioni entro 24 ore dall'esposizione con un semplice esame del sangue. Per ora il metodo, pubblicato su «Science Translational Medicine» da Dipanjan Chowdhury del Dana-Farber/Harvard Cancer Center, riguarda solo topi di laboratorio. I risultati però indicano che può funzionare anche sugli esseri umani, fornendo uno strumento utile per interventi terapeutici urgenti (si veda *Il rischio di radiazioni ionizzanti* in «Le Scienze», n. 532, dicembre 2012).

Chowdhury ha studiato gli effetti delle radiazioni su microRNA, brevi sequenze di RNA che regolano l'attività di geni e che possono trovarsi anche nel sangue oltre che nelle cellule. Dopo avere esposto le cavie a diverse dosi di radiazioni, esami del loro sangue hanno permesso di valutare i danni della radioattività in un gruppo di 170 microRNA. I test hanno identificato «firme» delle dosi di radiazioni ricevute in base alle mutazioni di microRNA, e addirittura sono stati in grado di prevedere quali cavie sarebbero sopravvissute dopo settimane.

Romulic-Stojcic/Lumi Images/Corbis (*temporale*); Jurgen Freund/Nature Picture Library/Corbis (*livello del mare*); cortesia Zongda Zhang (*illustrazione antenato uccelli*)

AcademiaNet

Expert Database of Outstanding Female Academics



AcademiaNet is a unique service for research facilities, journalists and conference organisers searching for outstanding female academics with boardroom experience and management skills on top of their excellent qualifications.

AcademiaNet, the European expert database of outstanding female scientists, offers:

:: Profiles of highly qualified female researchers from every discipline – nominated by renowned scientific organisations and industry associations
:: Customised search options according to discipline and area of expertise
:: Current news about »Women in Science«

Robert Bosch Stiftung

Spektrum der Wissenschaft

nature

An initiative of the Robert Bosch Stiftung in cooperation with Spektrum der Wissenschaft and Nature Publishing Group

www.academia-net.org

di Massimiliano Razzano

Giovani italiani nello spazio europeo

L'Agenzia spaziale europea ha selezionato un progetto di studenti dell'Università di Pisa mirato a costruire dispositivi termici innovativi per applicazioni spaziali

Nello spazio c'è un nuovo pezzetto di Italia. A portarlo lassù è stato un gruppo di giovani brillanti, entusiasti e con tanta voglia di guardare al futuro. Sono i ragazzi del Pulsating Heat Pipe Only for Space (PHOS), un progetto per sviluppare tubi di calore pulsanti, una specie di «termosifoni» che controllano il flusso di calore nei satelliti spaziali. Il PHOS *team*, formato da una ventina di giovani supportati da alcuni docenti universitari, è stato scelto a fine 2013 per il programma Rocket and Balloon Experiments for University Students (REXUS/BEXUS) dell'Agenzia spaziale europea (ESA). Unico progetto italiano, lo scorso 18 marzo PHOS è partito per lo spazio dalla base di Esrange, nel nord della Svezia. Com'è andata? Ce lo raccontano Gian Marco Guidi, Giorgiomaria Cicero e Francesco Creatini, rispettivamente *project manager*, responsabile del software e responsabile del design meccanico di PHOS.

Come è andato il lancio?

Cicero: Da un punto di vista ingegneristico possiamo affermare che il lancio di PHOS è avvenuto con successo. Per un guasto al sistema di de-spin, che doveva far smettere di ruotare il razzo attorno al proprio asse longitudinale, le dinamiche del volo non hanno reso facile l'interpretazione dei dati. Ma le analisi ora in corso lasciano intravedere la possibilità di caratterizzare le prestazioni del dispositivo in maniera esaustiva.

Tutto è cominciato con la selezione dell'ESA

Guidi: Non è stato facile. Abbiamo inoltrato una richiesta per un bando pubblico rivolto a studenti universitari di tutta Europa. Tutti i gruppi partecipanti hanno mostrato grandi idee per i loro esperimenti e la competizione era elevata. Noi abbiamo presentato una proposta tecnica a settembre 2013 e siamo stati preselezionati e invitati a presentare la nostra idea a una commissione di esperti alla sede ESA/ESTEC di Nordwiijk nei Paesi Bassi. Pochi giorni dopo, il 13 dicembre 2013, ci hanno ufficialmente selezionati.

Come funziona il dispositivo PHOS?

Creatini: Il dispositivo è un tubo di calore che funziona in maniera pulsata. È considerato uno dei più promettenti dal punto di vista del controllo termico di future applicazioni spaziali, dal raffreddamento dell'elettronica di bordo fino ai pannelli solari.

Consiste in un tubo di dimensioni capillari con un diametro di pochi millimetri, ripiegato a forma di serpentina e riempito con un fluido refrigerante che si distribuisce in un'alternanza di bolle di vapore e tappi di liquido. Lo scambio termico avviene grazie alle oscillazioni del fluido innescate in seguito alla formazione di una differenza di temperatura tra le sezioni calda e fredda del dispositivo.

I test nello spazio sono quindi fondamentali.

Creatini: La formazione di un modello di flusso caratterizzato dalla presenza di bolle di vapore e tappi di liquido è limitata al caso di un tubo di diametro interno inferiore a un valore critico. Questo è strettamente legato al valore dell'accelerazione di gravità e, in condizioni di gravità ridotta, si pensa che il dispositivo possa funzionare con un diametro interno del tubo maggiore rispetto al valore per cui è possibile il funzionamento a terra. Se questa ipotesi dovesse essere confermata, si aprirebbe una strada completa-

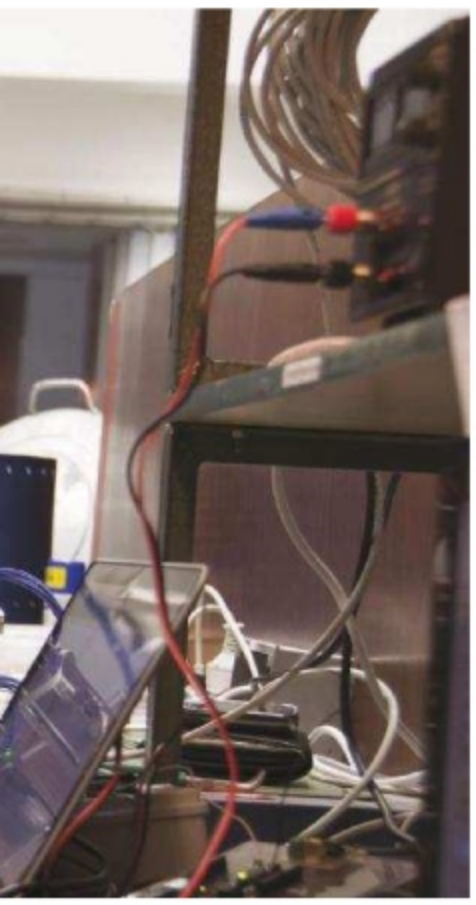
Cortesia PHOS Team (*tutte le foto in questa pagina e nella pagina a fronte*)

CHI SONO

Il PHOS team (http://phosproject.com) è formato da studenti di ingegneria ed economia dell'Università di Pisa supportati da docenti dell'ateneo pisano e dell'Università di Bergamo. Selezionato nel 2013 dall'Agenzia spaziale europea, il gruppo ha preparato i dispositivi PHOS fino al lancio, avvenuto nel 18 marzo 2015.

Il gruppo ha sviluppato collaborazioni con varie aziende, fra cui Selex ES, Elemaster Group SpA, VICOR, BRUSA Meccaniche, Kayser Italia, e Aavid thermalloy, Loctite, BoxDrop e BBC Fornacette.

Oltre a Guidi, Cicero e Creatini, il team è formato da Davide Fioriti, Federico Belfi, Davide Di Prizio, Stefano Piacquadio, Giulia Orlandini, Giulia Becatti, Andrea Pasqui, Simone Fontanesi, Alessandro Frigerio, Michele Rognini, Pietro Nannipieri, Rambod Rahmani, Martina Pezzini, Manuel Camero, Francesco Pini, Michela Biagini, Matteo Montanaro, Nicolò Morganti.



Studio e lavoro. Sopra, alcuni ragazzi di PHOS davanti al «loro» razzo poco prima del lancio, sotto a destra l'esperimento assemblato e a sinistra Cicero mentre effettua alcuni test del dispositivo.

mente inesplorata nell'ambito del controllo termico a bordo di un veicolo spaziale.

Quali sono gli aspetti tecnologici più innovativi?

Cicero: Siamo i primi ad aver testato questo dispositivo con una geometria che può funzionare solo in assenza di gravità. Dato che è un dispositivo passivo, contrariamente a quelli oggi in uso, le future applicazioni consentiranno un abbattimento dei costi nel trasferimento del calore. L'energia nello spazio è una risorsa preziosa e l'innovazione del progetto permette dunque un'ottimizzazione dei consumi, una finalità che per la scienza oggi è un dovere.

Qual è stato l'aspetto più difficile di PHOS?

Cicero: Realizzare questo progetto ha richiesto una mole di lavoro importante soprattutto per il coinvolgimento e coordinamento di gran parte di settori ingegneristici. Grande è stato lo sforzo di noi studenti che, con il bagaglio quasi esclusivamente teorico, abbiamo portato a termine con successo una missione spaziale rispettando tempi e requisiti tecnici necessari. L'ambizione e il desiderio di superare le varie *review*, che hanno cadenzato il percorso dalla fase di disegno a quella implementativa, sono state il motore per portare a termine la missione con successo.

Qual è il segreto del vostro gruppo?

Guidi: Di sicuro il fatto di essere tutti ragazzi con molta voglia di imparare e di fare. Veniamo da rami diversi dell'ingegneria e abbiamo cercato di coordinarci al meglio per ottimizzare i tempi e riuscire a conciliare il progetto con i nostri studi e gli altri impegni. Abbiamo sempre cercato di impostare il nostro lavoro di gruppo come se fossimo una piccola azienda nel settore dello spazio e questo ci ha motivato moltissimo. Abbiamo anche un settore marketing che promuove le nostre attività.

Potete anticiparci i primi risultati post-lancio?

Creatini: Il mancato funzionamento del sistema di de-spin ha modificato le condizioni sperimentali, impedendo il funzionamento in condizioni di gravità ridotta. Il dispositivo ha però risposto come previsto, impedendo che si raggiungessero temperature troppo elevate nella sezione calda, e i dati raccolti sono molto incoraggianti per il proseguimento dello studio.

Quali sono le vostre aspettative per il futuro?

Guidi: PHOS è stata una delle esperienze più belle e formative a cui abbiamo partecipato. Abbiamo imparato moltissimo sul piano tecnico e umano, e PHOS è stato l'interfaccia fra la nostra vita da studenti e quella da futuri professionisti. Crediamo molto in questa tecnologia e quindi vogliamo promuoverla. Adesso guardiamo al futuro. Molte aziende sono interessate a PHOS: anche Selex ES di Finmeccanica, tra i nostri partner, lo ha riconosciuto, soprattutto per il raffreddamento degli equipaggiamenti e strumenti per satelliti. Stiamo pensando quindi di trasformare il progetto PHOS in una *start-up*. Siamo all'inizio della nostra avventura e per questo cerchiamo aziende pronte a sostenerci.

di Letizia Gabaglio

Al servizio della ricerca

VisMederi fornisce servizi di consulenza e analisi soprattutto per aziende farmaceutiche che operano nel settore dello sviluppo di vaccini

Se si pensa a un'azienda di servizi, la prima immagine non è certo quella di ricercatori in camice bianco che maneggiano pipette con dentro virus pandemici. Piuttosto vengono in mente impiegati e scartoffie, oppure giardinieri, baby sitter, infermieri. Ma nel *mare magnum* dei servizi ci sono anche quelli alle aziende, e a quelle farmaceutiche nello specifico. È a questo settore che è andato il pensiero di tre ricercatori dell'Università di Siena quando, nel 2009, decidono di fondare VisMederi.

«L'idea è nata nel corso del nostro lavoro di ricerca in ambito sierologico, quando ci siamo accorti che all'università non eravamo in grado di svolgere alcune attività molto specifiche, e dovevamo rivolgerci a terzi per portare a termine i nostri lavori», spiega Emanuele Montomoli, uno dei fondatori dell'azienda, di cui oggi è direttore scientifico. «I virus dell'influenza pandemica, per esempio, non potevamo maneggiarli in ateneo perché non avevamo un laboratorio di contenimento adeguato; oppure non avevamo modelli animali adatti per i test nelle diverse fasi delle sperimentazioni». Ma la spinta a dare vita alla start-up viene anche da un'altra considerazione: Chiara Gentile e Simona Piccirella, le altre due fondatrici, hanno un contratto di post-doc in scadenza e l'università non può offrire una posizione, se non dopo molto tempo. Così bisogna cercare un'altra strada: estero o imprenditoria. I tre ricercatori scelgono la seconda opzione con un obiettivo ambizioso: crescere tanto da poter richiamare a lavorare in azienda lo stesso gruppo di ricerca dell'università. Nasce così VisMederi, con un piccolo ufficio e un laboratorio in affitto presso il Toscana Life Science, il parco scientifico gestito dall'omonima Fondazione. E l'obiettivo a sei anni di distanza è stato raggiunto: oggi lavorano nell'azienda biotecnologica 25 ricercatori, in gran parte provenienti dal gruppo che lavorava all'ateneo senese.

«*Vis*», cioè «forza», e «*mederi*», cioè «curare»: già a partire dal

LA SCHEDA

VisMederi

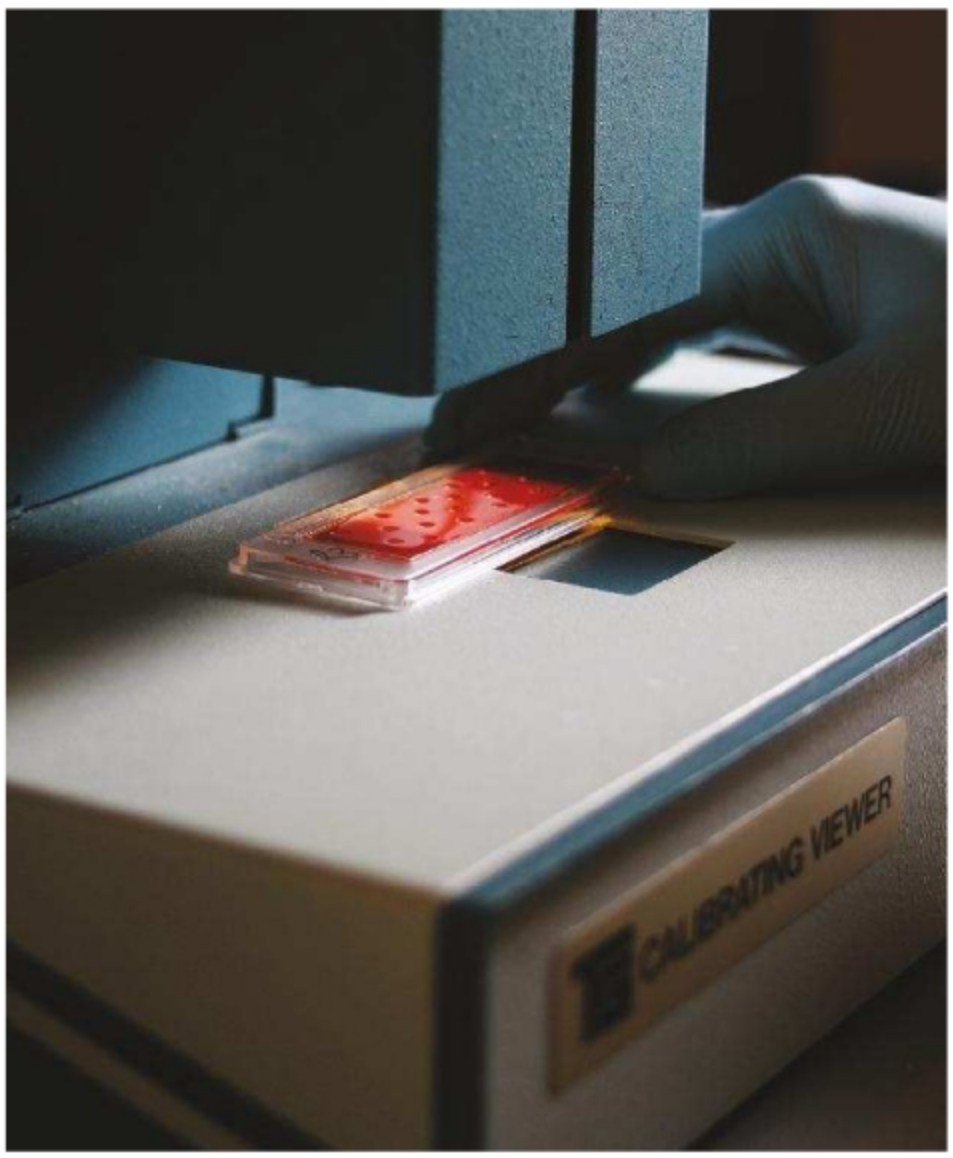
Fatturato
1,6 milioni di euro

Investimenti in ricerca
200.000 euro

Dipendenti/collaboratori
20 di cui 3 impiegati in R&S

Brevetti rilasciati
0

Cortesia VisMederi (*tutte le foto, in questa pagina e a fronte*)



nome, i soci fondatori hanno reso esplicito il loro interesse più grande, trovare soluzioni per migliorare la salute. Il focus della nuova azienda è la sierologia: «Buona parte dei clienti iniziali li conoscevamo perché ci lavoravamo all'università. Ma poi abbiamo ampliato il nostro raggio di azione, soprattutto in Giappone, dove collaboriamo con le quattro aziende più importanti», spiega ancora Montomoli. Le aziende farmaceutiche si affidano a VisMederi per effettuare studi di sierologia in tutte le fasi dei trial clinici: una volta reclutati i pazienti e acquisiti i campioni di sangue, l'impresa *biotech* senese entra in campo a effettuare il *range* piuttosto ampio di analisi indispensabili per ottenere informazioni preziose sulla risposta dei pazienti al vaccino. «Facciamo quello che all'università non potevamo fare. Oggi possiamo contare su cinque laboratori di biocontenimento che nel frattempo abbiamo costruito, in cui possiamo studiare patogeni molto pericolosi, come i virus pandemici», sottolinea l'ordinario dell'Università di Siena.

Ma il lavoro di Montomoli e colleghi si estende anche alle fasi successive, in tutto il ciclo produttivo dei vaccini, fino ad arrivare ai controlli microbiologici sul prodotto o al *data management*, cioè alla gestione dei dati dello studio. «Fra noi e i nostri clienti c'è un dialogo continuo, è questa la nostra forza, quello che ci rende diversi da altri fornitori di servizi che sono più generalisti, non hanno cioè un'*expertise* specifica come quella che abbiamo noi nel campo dei vaccini», precisa Montomoli.

Gli anni passano e il fatturato cresce, ma VisMederi decide di diversificare il suo business per rendersi ancora più solida. «Fino al 2012 abbiamo operato esclusivamente nel campo dello sviluppo di vaccini con relativamente poche commesse ma molto ingenti, un rischio per una piccola azienda biotech. Abbiamo quindi deciso di sfruttare le nostre conoscenze in campo microbiologico per proporci come azienda di servizi nel controllo di qualità degli alimenti», dice il direttore scientifico. Il decreto legislativo 155 del 1997 obbliga infatti tutte le aziende che hanno a che fare con la trasformazione e conservazione degli alimenti a rispettare alcune norme generali di igiene – riunite sotto la denominazione HACCP - ma per molte piccole realtà è impensabile eseguire test e analisi internamente. In questo modo VisMederi ha acquisito un numero ingente di clienti che si trovano tutti sul territorio dell'azienda, fra Toscana, Umbria e alto Lazio.

L'idea di un farmaco

La ricerca svolta nei laboratori di Siena è attualmente al centro anche di due progetti europei, Aditec e Biovacsafe. Il primo coinvolge 43 istituzioni di 13 paesi diversi con l'obiettivo di sviluppare tecnologie innovative per l'immunizzazione da usare nelle prossime generazioni di vaccini umani. Il secondo invece lavora sulla sicurezza dei vaccini, prima e dopo la messa in commercio.

«Con i progetti europei abbiamo modo di concentrarci sulla ricerca, e questo per noi è importante. È vero che il nostro lavoro non si focalizza sulla ricerca farmacologica, ma qualche idea nel cassetto per un farmaco ce l'abbiamo e magari, quando saremo ancora più solidi, troveremo il modo di svilupparla», conclude Montomoli. «Nel 2009 non abbiamo avuto la presunzione di provare a trovare investitori e quindi ci siamo concentrati su un settore, quello dei servizi, dove è più facile arrivare a farcela, anche se rispetto alle aziende che sviluppano farmaci il ricavo è inferiore. In questo modo abbiamo ottenuto il nostro primo obiettivo: dare un posto di lavoro a persone che non l'avrebbero più avuto».

L'obiettivo successivo è ampliare ancora di più il mercato di riferimento, presidiando anche il Sud America e il Sudest asiatico. E in futuro, chissà, aprire al settore farmaceutico. Oggi, con un fatturato di poco meno di due milioni di euro e un business solido, quello dello sviluppo di una molecola potrebbe non essere più un sogno.

Da Siena al mondo. Qui sopra da sinistra a destra i tre soci fondatori di VisMederi: Emanuele Montomoli, Chiara Gentile e Simona Piccirella. Nella pagina a fronte, alcuni passaggi delle analisi effettuate dall'azienda biotecnologica senese per conto di altre aziende, anche di altri continenti.

L'OGM che non ti aspetti

Di cibi geneticamente modificati a Milano non si discute, o se ne parla solo per condannarli. Eppure all'Esposizione ce ne sono più di quanto si creda

Erano una trentina. Avevano pettorine gialle, sventolavano bandiere di Legambiente e marciavano decisi lungo la via principale dell'EXPO, il Decumano, portando un lungo striscione con la scritta «no OGM, sì biologico».

Lo scorso 6 giugno, i visitatori dell'Esposizione Universale «Nutrire il pianeta, energia per la vita» hanno potuto assistere alla prima manifestazione di protesta all'interno dei confini del sito espositivo. I temi sono quelli cari a Legambiente: dalla sottrazione dei terreni agricoli per la costruzione di autostrade e parcheggi, alla presenza massiccia di grandi catene alimentari, fino alla promozione di «un'alimentazione sicura senza OGM, per combattere la fame nel modo e garantire più equità nella distribuzione delle ricchezze» come si legge nella nota diffusa alla stampa. Gli OGM per Legambiente rappresentano il simbolo di un modello agricolo da scardinare, prigioniero delle multinazionali e dannoso per l'ambiente e le popolazioni.

Ma è davvero così? E, soprattutto, di questo argomento così importante e controverso, se ne parla all'EXPO?

Quella di quest'anno doveva essere un'EXPO OGM-*free*. Nei mesi che hanno preceduto l'apertura, ministri e organizzatori si sono cimentati in grandi acrobazie pur di non affrontare direttamente l'argomento, deviando ogni volta sulle eccellenze italiane, sulla sostenibilità, sulla salvaguardia della biodiversità, senza però scendere mai nei dettagli. Ma a ben guardare, dentro all'EXPO ci sono molti più OGM di quanti la popolazione mediamente possa conoscere. Certo, non sono molto evidenti né troppo pubblicizzati, ma sono a lì a dire «ehi, ci siamo anche noi!».

Gli Stati Uniti, per esempio, hanno scelto di parlarne senza nominarli, raccontando di «mais resistenti alla siccità» e altre piante sviluppate per rispondere ai cambiamenti dovuti al riscaldamento globale. Gli olandesi, invece, sono stati più espliciti parlando direttamente di geni e di ricerche volte a produrre pomodori, patate, grano e angurie con caratteristiche agronomiche o commerciali interessanti. C'è poi chi ne parla male, il Padiglione di Slow Food su tutti, che dedica alla rivoluzione portata dagli OGM un intero tavolo con toni preoccupati simili a quelli usati da Legambiente.

Alberto Cristofari/A3/Contrasto

Melanzane OGM ecosostenibili

Era lì, abbandonato su un banchetto, nel piccolo Padiglione del Bangladesh ospitato dal Cluster del Riso. Un libretto un po' sgualcito, con appiccicato sulla copertina un post-it giallo con la scritta «Non in vendita». Il libretto presentava le attività del BARI, il Bangladesh Agricultural Research Institute, un centro di ricerca che si occupa di fare miglioramento genetico di piante di interesse locale. Il riso, ovviamente, ma anche frutta e verdura, come la *brinjal*, il nome usato nei paesi asiatici per la melanzana. In India gli ettari coltivati raggiungono il mezzo milione, mentre in Bangladesh sono circa un decimo, coltivati però da più di 150.000 piccoli agricoltori che possiedono spesso meno di un ettaro e vendono la loro produzione direttamente ai consumatori.

Il libretto del BARI ci informa che una delle principali piaghe per gli agricoltori di queste regione è l'attacco di un insetto, la piralide delle melanzane, *Leucinodes orbonalis*, le cui larve colonizzano e scavano i frutti, provocando perdite del raccolto dal 50 al 70 per cento. Una piaga che gli agricoltori cercano di combattere irrorando le coltivazioni con pesticidi. In Bangladesh, ogni anno, si effettuano in media 140 trattamenti, su una stagione di 180-200 giorni: quasi uno al giorno. Numeri impressionanti che si traducono in un impatto pesante per l'ambiente e per la salute, prima di tutto, degli agricoltori.

Una difesa «naturale» contro quest'insetto esiste e si chiama *Bacillus thuringesis* (Bt), un batterio innocuo per gli esseri umani, ma mortale per le piralidi, tant'è che si usa come pesticida in agricoltura biologica. I geni di questo batterio sono da tempo usati per produrre piante OGM, come il diffusissimo Mais-Bt, in grado di difendersi da sole dall'attacco dalla piralide. Perché, quindi, non provarci anche con la melanzana?

di Beatrice Mautino

Biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti, l'e-book *Stamina. Una storia sbagliata* (2014) e *Contro natura*, con Dario Bressanini (Rizzoli, 2015)

Le larve della piralide delle melanzane (*a fianco*) scavano i frutti distruggendo dal 50 al 70 per cento dei raccolti. Sotto, il Padiglione degli Stati Uniti a EXPO2015.

Cortesia National Bureau of Agricultural Insect Resources, India (2)

Qui entra in gioco un'azienda indiana, Mahyco, partner della ben più nota multinazionale sementiera Monsanto, che aveva prodotto e cercato di introdurre le melanzane-Bt in India. Nel 2005, grazie alla mediazione della Cornell University, Mahyco ha concesso l'uso del gene con un contratto *royalty-free* al BARI, che ha trasferito il gene di resistenza per la piralide a nove varietà di melanzane coltivate localmente. Dopo sette anni di prove in serra e in campo e test, il 30 ottobre 2013, quattro di queste Bt-Brinjal prodotte dal BARI sono state autorizzate al commercio. In prima battuta, è partito un progetto pilota con 20 agricoltori, ognuno con circa un ettaro di terreno, ma i numeri sono presto cresciuti e, a oggi, gli agricoltori che le coltivano sono un centinaio.

Scardinare luoghi comuni

Nonostante sia troppo presto per tirare conclusioni, i primi dati in arrivo sono incoraggianti. Leggiamo sui documenti del BARI che si è potuta registrare una riduzione del 90 per cento dei pesticidi con una riduzione di costi dal 30 all'80 per cento e una riduzione del numero di frutti danneggiati (il 2-5 per cento contro il 24-100 per cento).

Ma il dato che forse lascia di più a bocca aperta è quello relativo al prezzo di vendita: maggiore perché «*pesticide-free*». Le proteste dei gruppi ambientalisti non mancano, ma gli agricoltori proseguono convinti.

Questa storia scardina alcuni dei luoghi comuni sugli OGM. La Bt-Brinjal è stata prodotta da un centro di ricerca pubblico, gli agricoltori sono proprietari dei semi e possono decidere di conservarli, scambiarli e riseminarli. Inoltre, l'introduzione di questa melanzana ha ridotto notevolmente l'uso di pesticidi e i consumatori hanno reagito bene, acquistandola addirittura a un prezzo più alto.

Siamo davvero sicuri che il mondo si debba dividere in OGM da una parte e biologico dall'altra come sostengono i manifestanti di Legambiente? Non potrebbero coesistere?

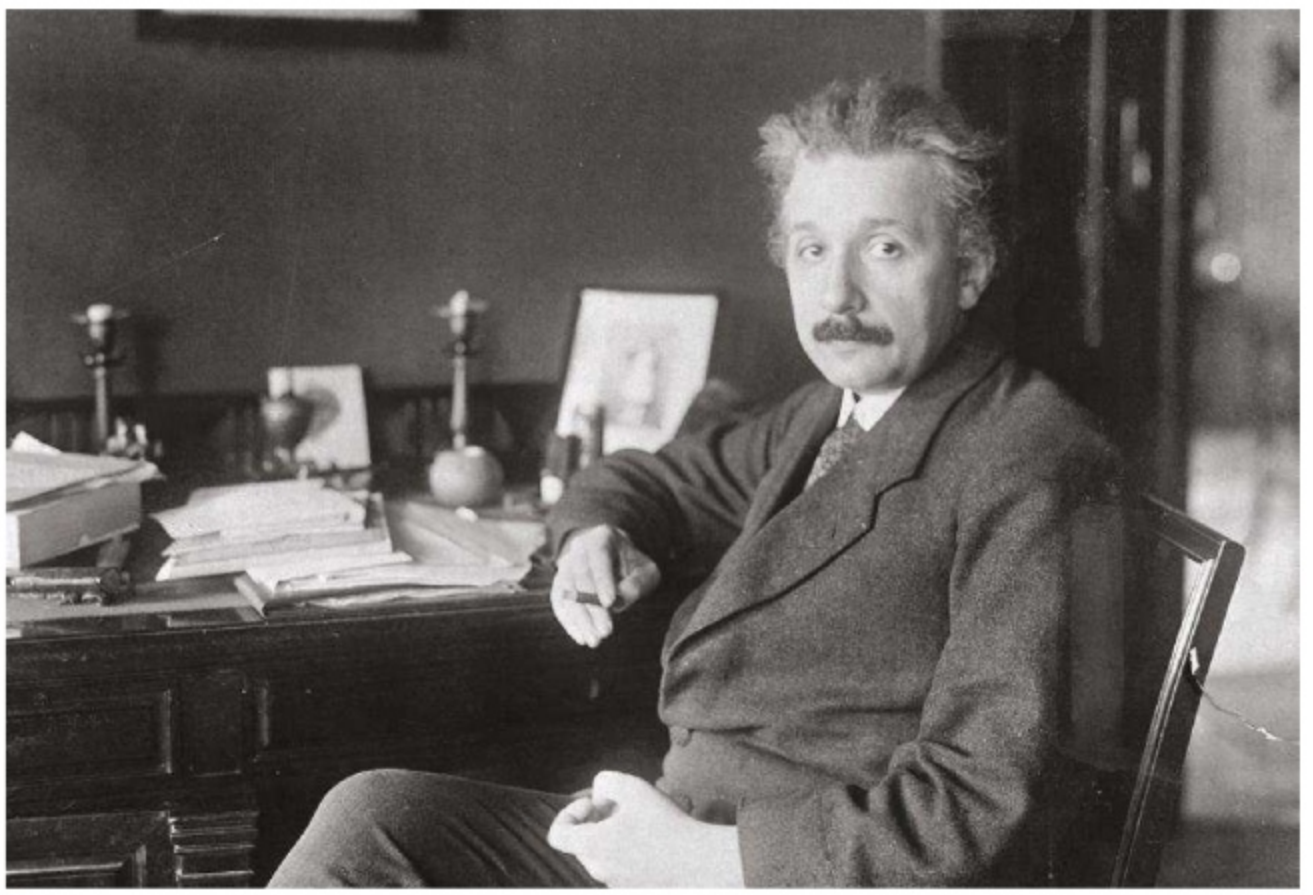
di Elena Castellani
professore associato, Dipartimento di filosofia,
Università di Firenze

Einstein, scienziato e filosofo

Quanto è rilevante l'analisi filosofica nell'opera einsteiniana?

Su Albert Einstein e i suoi rivoluzionari contributi alla scienza non c'è certo bisogno di risvegliare l'attenzione. Ci sono però ricorrenze che aiutano a ripensare l'opera complessiva di un personaggio che è stato, ed è tuttora, così influente. In particolare, i centenari: dieci anni fa, il centenario dell'«*annus mirabilis*» (1905), in cui apparvero i lavori di Einstein sui quanti di luce, il moto browniano e l'elettrodinamica dei corpi in movimento (l'articolo in cui è formulata la teoria della relatività ristretta); quest'anno, il centenario della formulazione della teoria della relatività generale (1915) – la teoria della gravitazione di Einstein, all'origine della moderna cosmologia – con tutte le relative iniziative.

Una parte di queste iniziative riguarda, oltre alla scienza, anche la filosofia: sia nel senso della rilevanza filosofica dell'opera einsteiniana, sia nel senso della filosofia dello stesso Einstein. La riflessione filosofica occupa infatti un grande spazio in tutta la sua opera, tanto che un notissimo volume collettivo del 1949, a essa dedicato è intitolato proprio *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*. Vi si trova una costante attenzione a temi tradizionali della filosofia della scienza, come il rapporto tra teorie, esperienza e realtà, i criteri nella scelta tra teorie empiricamente equivalenti o il ruolo delle convenzioni nella scienza, e la sua «filosofia», seppur non esposta sistematicamente, emerge in modo chiaro dalle sue riflessioni sul pensiero di autori che lo hanno influenzato o con cui si confronta (da Hume, Spinoza e Kant per arrivare a Mach, Poincaré, Duhem e ai protagonisti del positivismo logico, tra cui, in particolare, Schlick e Reichenbach).



Pensiero complesso. Einstein in una foto scattata nel 1929. La riflessione filosofica occupa grande spazio in tutta l'opera dello scienziato tedesco poi naturalizzato svizzero e statunitense.

Bettmann/Corbis

Tra i contributi di Einstein «filosofo» vale la pena ricordare, in particolare, la distinzione tra «teorie costruttive» e «teorie di principi»: una distinzione molto feconda, introdotta in un suo breve intervento sul «Times» nel 1919 a proposito della relatività. «Teorie costruttive» sono quelle «che cercano di costruire un'immagine di fenomeni complessi a partire da proposizioni relativamente semplici». Per esempio, la teoria cinetica dei gas, che «cerca di ricondurre le proprietà termiche, meccaniche e di diffusione dei gas ai moti molecolari». Nelle «teorie di principi», invece, si procede in modo analitico, a partire da «proprietà generali dei fenomeni determinate su base empirica, cioè principi, dai quali sono dedotte formule matematiche che possono essere applicate a tutti i casi particolari». La termodinamica, basata sul principio dell'impossibilità del moto perpetuo, ne è un esempio, come le teorie della relatività (fondate, quella ristretta, sul principio della costanza della velocità della luce e il principio di relatività ristretta, e quella generale, sul principio d'equivalenza e il principio di relatività generale). Due modalità d'elaborazione teorica che offrono una chiave di lettura efficace per comprendere il formarsi e lo sviluppo delle teorie fisiche, come dimostra appunto Einstein illustrando, in questi termini, il processo che lo ha condotto nelle sue ricerche.

Molto citate, infine, sono le riflessioni einsteiniane sul valore della filosofia. Una di queste, che i filosofi amano molto ricordare e che può servire bene, qui, da conclusione, è la risposta data da Einstein nel 1944 a un docente di fisica che gli chiedeva un parere riguardo alla rilevanza della filosofia per la scienza: «Concordo pienamente sull'importanza e il valore educativo della metodologia così come della storia e filosofia della scienza. Oggi molte persone, perfino scienziati di professione, mi sembrano come chi abbia visto migliaia di alberi senza mai vedere una foresta. Una conoscenza storica e filosofica di sfondo fornisce quel tipo d'indipendenza dai pregiudizi ... dai quali la maggior parte degli scienziati sono afflitti. Quest'indipendenza creata dall'analisi filosofica è, a mio parere, il segno di distinzione tra un mero artigiano o specialista e chi cerchi davvero la verità».

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

La vita secondo Dawkins

Lo scienziato ha sintetizzato in un'intervista il suo pensiero su vita ed evoluzione

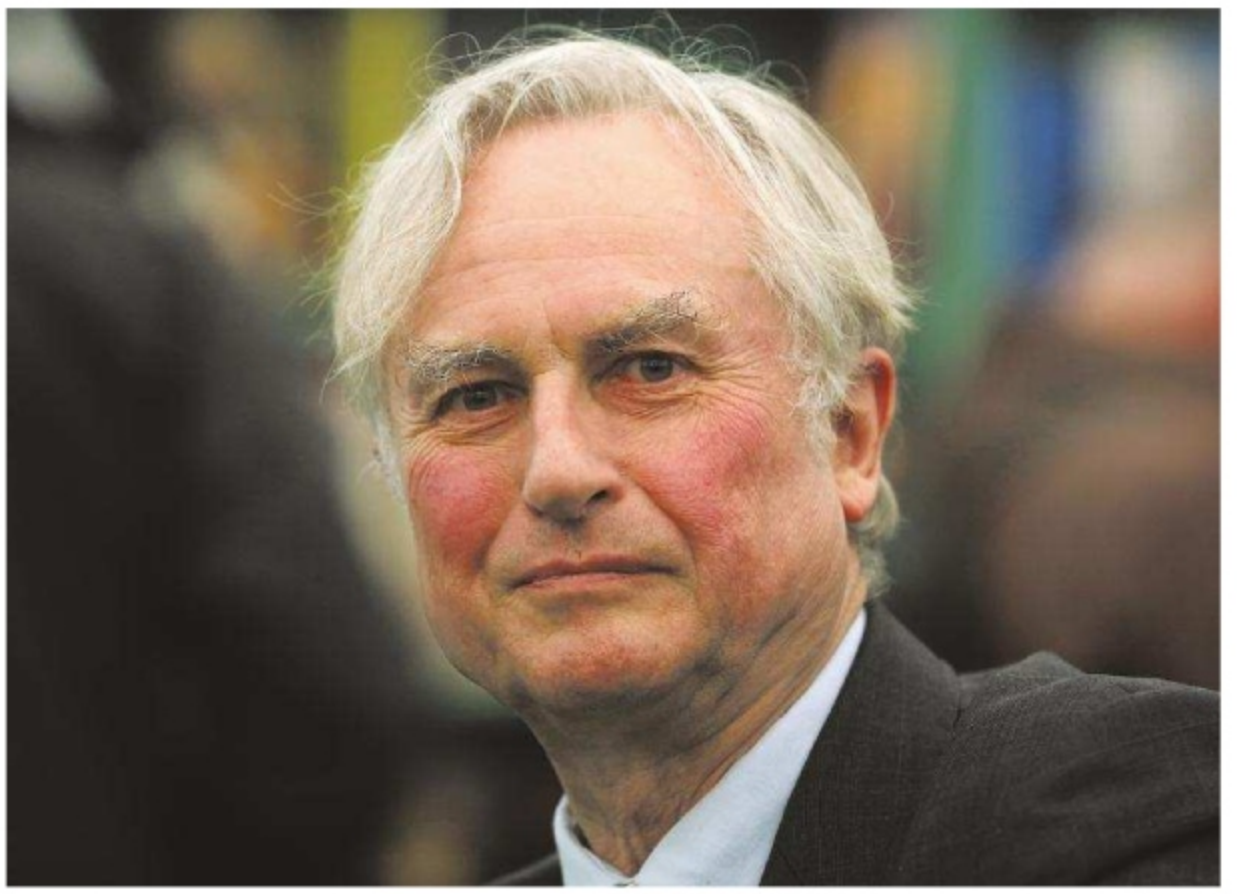
«Penso che esista una sola maniera di trasmutare il piombo della fisica pura nell'oro della complessità della vita, e questa è rappresentata dalla dottrina della sopravvivenza differenziale dei replicatori, che poi non è che il darwinismo nella sua accezione più generale.» Con queste parole chiare e perentorie Richard Dawkins sintetizza il suo pensiero sulla natura della vita e sulla sua evoluzione. Lo fa in un'intervista da lui recentemente rilasciata a John Brockman. Il testo completo si può trovare in *This is my vision of "life"* sul sito web www.edge.org.

Nell'intervista Dawkins compendia da par suo il proprio pensiero sull'evoluzione e sulla vita in generale, che ha suscitato spesso qualche perplessità e generato molte polemiche, ma al quale non si può negare il pregio della chiarezza e del coraggio. Qui Dawkins arriva a dire che se nell'universo esiste qualche altra forma di vita oltre la nostra – e lui personalmente pensa di sì – non potrà che seguire gli stessi principi, ed essere basata proprio su una qualche forma di darwinismo come sopravvivenza differenziale di replicatori.

Per chi è convinto, come lui e come me, che la vita obbedisce a tutte e solo le leggi della fisica e della chimica e che non richiede principi *ad hoc*, si pone da sempre il problema di spiegare che cosa hanno di particolare le forme viventi che, pur non violando nessuna delle leggi che regolano tutta la materia dell'universo, ci appaiono così diverse dagli oggetti inanimati, nella struttura e nel funzionamento. Una maniera per farlo è appunto puntare l'indice sulla replicazione e sull'evoluzione nel tempo degli oggetti che si replicano. Perché non c'è dubbio che le poche regolarità che si osservano in biologia e che talvolta sono chiamate leggi biologiche riguardano appunto i processi di replicazione degli organismi e la loro evoluzione nel tempo, come dire il centro vitale delle scienze della vita. E nessuno l'ha fatto con più forza e incisività di Dawkins.

Che cos'è innanzitutto un replicatore? Un tratto di DNA che porti anche informazione biologica e che in un primo tempo fu identificato *tout court* con un gene. Da qui l'espressione di «geni egoisti» come entità volte puramente ad autoperpetuarsi, accanto agli organismi e al di sopra di questi. Per molti il nome di Dawkins è associato a questa visione secondo cui sono primariamente i geni e non gli organismi che si replicano ed evolvono.

Ma lasciamolo parlare: «La mia visione della vita è che tutto parte dai replicatori, che sono in pratica molecole di DNA su questo pianeta. L'azione dei replicatori arriva nel mondo a influenzare la propria probabilità di essere trasmessi. Per lo più la loro azione non va oltre l'organismo dove si vengono a trovare, ma è una questione di fatto, non di principio. Il singolo organismo può essere definito come quell'insieme di prodotti fenotipici che rappresenta l'unica via di passaggio per i geni verso il loro futuro. Così l'organismo, il singolo organismo, viene a rappresentare un'entità tutt'altro che trascurabile. Costituisce un'unità di selezione che ho definito un "veicolo". Esistono quindi due tipi di unità di selezione. Una, il replicatore, che copia se stessa, in modo che una quantità sempre maggiore di sue copie viene immessa nel mondo. L'altra, il veicolo, non copia se stessa, ma copia indirettamente i replicatori che contiene, che ha ricevuto a sua volta dalle precedenti generazioni e che si appresta a passare a quelle future. Siamo così in presenza di una dicotomia all'interno dei singoli replicatori. Si tratta in entrambi i casi di unità di selezione, ma in un senso un po' diverso. Ritengo molto importante che si capisca tale differenza.»



Doppio binario. Secondo il britannico Dawkins in ambito evolutivo ci sono due tipi di unità di selezione, le molecole di DNA e l'organismo che le contiene.

C'è poco da commentare. Direi che è tutto molto chiaro e distinto, come piacerebbe a Cartesio, ma io penso che ci sia ancora qualche precisazione da fare. Ed è su questo che mi ripropongo di fare qualche commento nel prossimo numero.

Dimitris Legakis/Splash News/Corbis

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

L'eredità matematica di Nash

Una panoramica dei risultati straordinari ottenuti dal genio tragicamente scomparso

La tragica morte di John Nash il 23 maggio scorso ha riportato all'attenzione pubblica la figura di questo genio matematico, resa popolare nel 2001 dal fantasioso film *A beautiful mind*. A interessare gli addetti ai lavori, però, non sono tanto le singolari vicende della sua vita, dalla malattia mentale della sua maturità alla remissione spontanea della sua vecchiaia fino all'incidente stradale della sua ultima ora, quanto piuttosto gli straordinari risultati che Nash ha ottenuto in un solo decennio della sua gioventù, fra i venti e i trent'anni.

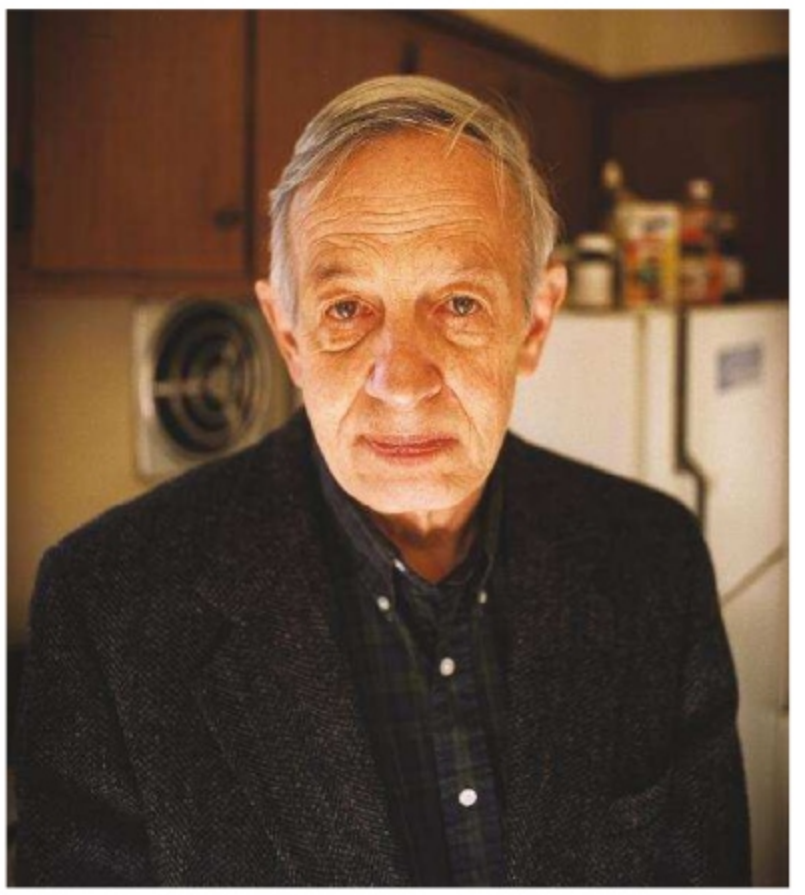
I più noti di questi risultati sono quelli della sua tesi di laurea del 1950 sui giochi non cooperativi, per i quali Nash è stato insignito nel 1994 del premio Nobel per l'economia, insieme a John Harsanyi e Reinhard Selten, con la motivazione: «Per la loro pionieristica analisi degli equilibri nella teoria dei giochi non cooperativi». Il riferimento è ai cosiddetti equilibri di Nash, che consistono in un comportamento che non può essere migliorato con azioni unilaterali, nel senso che lo si sarebbe tenuto anche avendo conosciuto in anticipo quale comportamento avrebbe tenuto l'avversario.

In giochi simmetrici, in cui i giocatori hanno stessi guadagni e stesse perdite quando si trovano nelle stesse condizioni, gli equilibri di Nash esistono sempre. Ma possono essere non unici, o non simmetrici: entrambe le cose accadono, per esempio, nella corsa agli armamenti. E anche quando sono unici e simmetrici, gli equilibri possono essere non desiderabili: come avviene, invece, nel famoso dilemma del prigioniero. Il che mostra che essere un equilibrio di Nash è una condizione necessaria, ma non sufficiente, per un comportamento razionale.

In giochi non simmetrici, invece, i precedenti equilibri puri possono anche non esistere: come accade, per esempio, quando si gioca a pari e dispari. Ma il teorema fondamentale della teoria dei giochi dimostrato da Nash stabilisce che, in generale, esiste comunque sempre un equilibrio misto, in cui un giocatore coopera con probabilità p e l'altro con probabilità q. Gli equilibri puri si ritrovano come casi particolari, quando p e q assumono solo i due valori 0 o 1.

Nash è morto tornando a casa da Oslo, dove la settimana prima aveva ricevuto il premio Abel 2015 per la matematica, insieme a Louis Nirenberg, «per sorprendenti e prolifici contributi alla teoria delle equazioni non lineari alle derivate parziali». Nel suo caso si trattava della soluzione del diciannovesimo problema di Hilbert, tratto dalla famosa lista di 23 sfide per il nuovo secolo proposte da David Hilbert al Congresso internazionale dei matematici tenutosi a Parigi nel 1900.

Il problema riguardava le equazioni differenziali alle derivate parziali di tipo ellittico, un tipico esempio delle quali è la famosa equazione del calore. Joseph Fourier dimostrò nel 1811 che la diffusione del calore in un solido omogeneo avviene in maniera regolare, e nel 1958 Nash estese il risultato al caso molto più complicato dei solidi non omogenei. Lo stesso risultato fu ottenuto anche da Ennio de Giorgi, allo stesso tempo e con metodi diversi, e si pensa che questo impedì a entrambi di ottenere la medaglia Fields.



Mente del Novecento. Nato nel 1928, Nash ottenne i suoi migliori risultati tra i venti e trent'anni di età.

Nash risolse il problema della regolarità delle soluzioni per le equazioni ellittiche legandolo a quello analogo per le equazioni paraboliche, usando nel processo quelle che poi sono state chiamate le disuguaglianze di Nash e risolvendoli entrambi. Nel 2005 Cedric Villani estese il risultato di Nash sull'equazione di Fourier all'equazione di Boltzmann, e ottenne per questo la medaglia Fields nel 2010. Non è dunque un caso che, nella sua *homepage*, Villani abbia messo sia Boltzmann sia Nash fra i suoi eroi, insieme a Maxwell e Turing, dicendo di «avere un'estrema ammirazione per il lavoro di Nash in questo campo».

A proposito di medaglia Fields, sembra che Nash perse quella del 1958 per un solo voto, a favore di René Thom. In quel caso il lavoro considerato fu quello del 1952 sulle varietà algebriche reali, che costituiva una tesi «di riserva» nel caso non fosse stata accettata l'altra sulla teoria dei giochi. Si tratta di un risultato di geometria che prova come una varietà riemanniana si può sempre immergere in uno spazio euclideo, preservando le lunghezze delle curve. E conferma l'eclettismo di Nash, che in un solo decennio è riuscito a produrre un'impressionante serie di profondi risultati, grazie ai quali sarà ricordato come uno dei massimi matematici del Novecento.

LAIF/Contrasto

di Amedeo Balbi
Astrofisico, ricercatore al Dipartimento di fisica dell'Università di Roma Tor Vergata

Ritratto di Plutone

Breve storia del pianeta nano in attesa dell'incontro con la sonda New Horizons

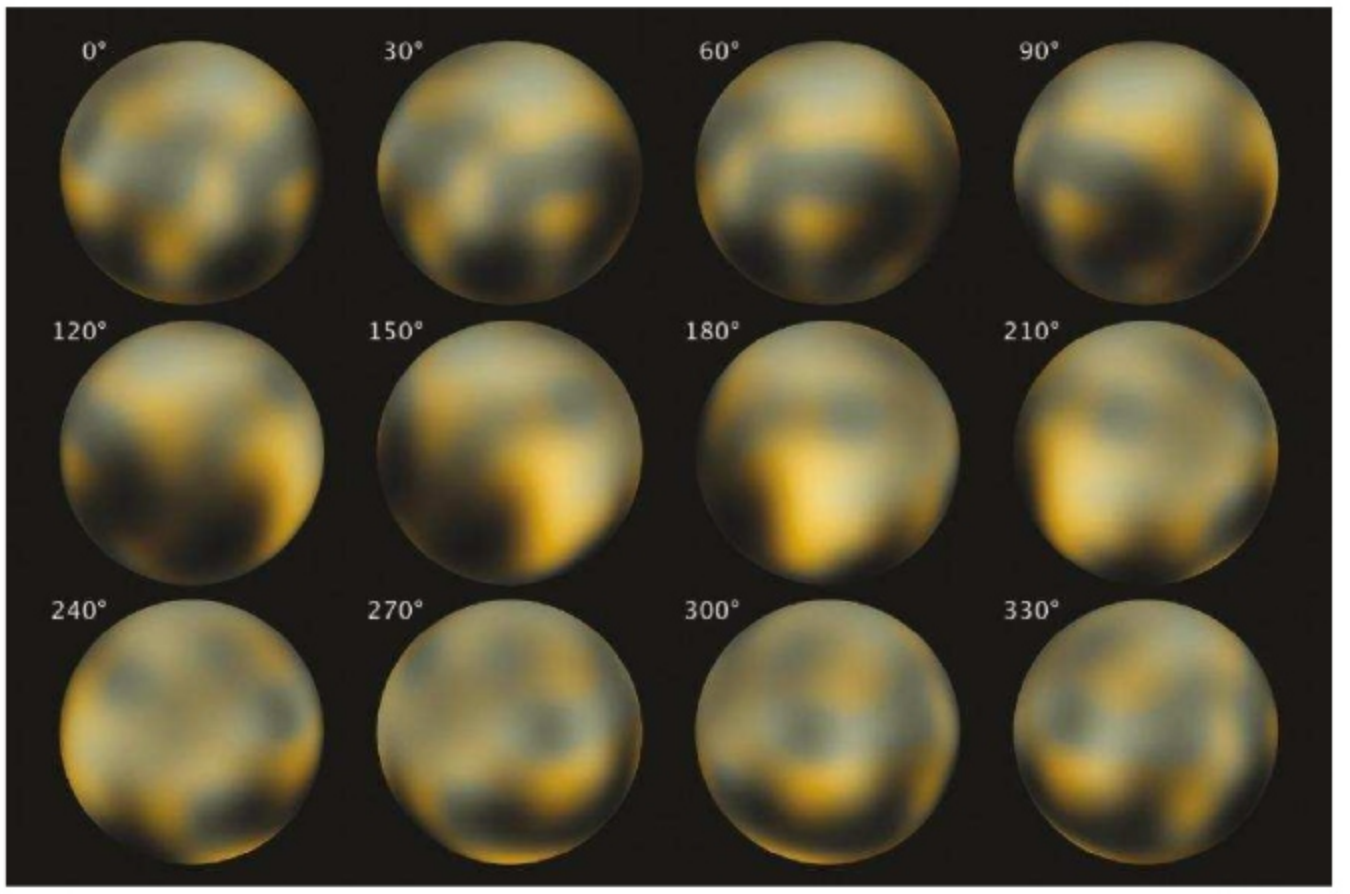
Dopo un viaggio durato oltre nove anni, questo mese la sonda New Horizons è entrata nel sistema di Plutone e, se tutto andrà secondo le previsioni, il 14 luglio si troverà alla minima distanza dal pianeta nano.

Quando la sonda fu lanciata, nel gennaio 2006, Plutone era ancora il nono pianeta del sistema solare, nonché l'unico a non essere stato esplorato da vicino. Qualche mese dopo è arrivata però la famigerata definizione voluta dalla Unione astronomica internazionale: per far parte del club dei pianeti, un oggetto deve orbitare attorno al Sole, avere una massa sufficientemente grande da far sì che la gravità gli dia la forma di una sfera, e non avere una quantità significativa di altri oggetti sulla propria orbita. Plutone, che non risponde al terzo criterio, è stato quindi declassato al rango di pianeta nano.

Non tutti l'hanno presa bene, primo fra tutti il leader di New Horizons, Alan Stern, secondo il quale la definizione «fa schifo» dal punto di vista tecnico. Altri pensano che la decisione sia giusta, come Mike Brown, che scoprendo nel 2005 Eris - un pianetino grande più o meno come Plutone, e più massiccio - aveva messo la comunità di fronte a una scelta: aumentare ulteriormente il numero di pianeti, o trovare una nuova classificazione.

Il fatto è che molte cose sono capitate da quando, nel 1930, il ventiquattrenne Clyde Tombaugh, confrontando numerose coppie di immagini astronomiche prese in tempi diversi, incappò nella scoperta di Plutone. La ricerca di quello che all'epoca veniva chiamato pianeta X - un nono pianeta oltre l'orbita di Nettuno - era stata una delle ossessioni di Percival Lowell, un ricco bostoniano con la passione dell'astronomia. Lowell aveva appositamente finanziato la costruzione di un osservatorio in Arizona, e fu proprio lì che il giovane Tombaugh scoprì il nuovo corpo celeste, anche se ormai Lowell era morto da 14 anni. Si dice che il nome Plutone sia stato scelto - su suggerimento di una undicenne inglese di nome Venetia Burney - anche perché le prime due lettere erano le stesse del nome e cognome di Lowell. Tombaugh è morto nel 1997, e una parte delle sue ceneri sono adesso in viaggio a bordo della New Horizons.

Un primo ridimensionamento di Plutone c'era stato già nel 1978, quando si scoprì la sua luna principale, Caronte. Grazie allo studio della sua orbita si poté misurare per la prima volta con precisione la massa del pianeta, che risultò molto più piccola delle stime precedenti: appena lo 0,2 per cento di quella della Terra. Plutone era quindi più piccolo di molti satelliti del sistema solare, inclusa la nostra Luna. Non solo, ma Plutone e Caronte orbitavano attorno a un centro di massa che non cadeva entro la superficie di nessuno dei due corpi celesti, formando dunque di fatto un sistema binario. Con il tempo, si è inoltre capito che Plutone è solo uno degli oggetti principali della fascia di Kuiper, un anello di detriti ghiacciati simile alla cintura di asteroidi tra Marte e Giove. Con la scoperta di altri pianetini nella stessa fascia, come Haumea e Makemake, e poi del pianetino trans-nettuniano Eris, il destino di Plutone come nono pianeta era segnato.



Gradi diversi. Plutone in foto scattate dal telescopio Hubble a diversi gradi di rotazione del pianeta nano attorno al proprio asse. A oggi sono le immagini più dettagliate disponibili.

Cortesia NASA/ESA/M. Buie, Southwest Research Institute

Definizioni a parte, resta l'interesse scientifico nei confronti di un corpo celeste di una classe tutta sua, e di cui si sa ancora assai poco. Basti pensare che fino a maggio scorso le immagini migliori di Plutone e Caronte erano quelle del telescopio spaziale Hubble, limitate a variazioni di luminosità superficiale di alcune centinaia di chilometri, contro le poche decine di chilometri di risoluzione che New Horizons otterrà al massimo avvicinamento. E ci sarà tempo di capire qualcosa di più sull'atmosfera di Plutone e del suo compagno, prima di continuare il viaggio e, forse, di riuscire a incontrare altri corpi della fascia di Kuiper.

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Il dilemma del parente stretto

Nuovi fossili di australopiteco rilanciano il dibattito sulle denominazioni di specie

Una nuova specie di *Australopithecus*, *A. deyiremeda* (che in lingua afar significa «parente stretto»), è stata denominata un mese fa sulla base di alcune porzioni mascellari e denti scoperti in Etiopia, in un sito non distante da quello della celebre Lucy e con una datazione che cade nel mezzo della cronologia della specie a cui Lucy appartiene: *A. afarensis*. La notizia è riportata in altra parte di questo numero (*si veda la news a p. 28*), mentre qui proviamo a inquadrare il problema, visto che di problema si tratta. Vediamo.

Fra le righe di un articolo del 1944 e poi, più esplicitamente, in un influente lavoro del 1950, Ernst Mayr, uno dei padri della teoria sintetica dell'evoluzione, mise mano alla tassonomia degli antenati di *Homo sapiens*. Aderendo in pieno alla visione gradualista del neodarwinismo, Mayr si oppose al frazionamento in generi e specie proposto dai paleoantropologi dell'epoca, ritenendolo improprio. A dire la verità, su questa linea si erano anche schierati paleoantropologi come Franz Weidenreich, che già nel 1940 aveva proposto di fondere *Pithecanthropus* e *Sinanthropus* in un'unica specie del genere *Homo* (*H. erectus*), o altri che lo seguirono come Bernard G. Campbell, autore nel 1965 di un fondamentale contributo sulla nomenclatura degli ominidi.

Come scriveva proprio Campbell, «non è tanto che i ricercatori fossero *splitter*, nel senso tassonomico, ma piuttosto ignoravano il significato del concetto di specie e usavano la nomenclatura binomia come etichette». In effetti, l'eccesso di denominazioni in latino in cui si erano distinti i paleoantropologi fra Ottocento e Novecento aveva portato a un numero di specie quasi pari a quello dei fossili stessi: era un po' come mettere un cartellino di museo sotto al fossile appena scoperto. D'altra parte, aveva di nuovo ragione Campbell nel precisare che tutto questo non va confuso con l'atteggiamento di chi interpreta il record fossile in base a nuovi modelli e nuovi metodi di analisi. A questo proposito, altrettanto influente fu un articolo di Ian Tattersall che, nell'ormai lontano 1986, ipotizzava che vi fosse stata una tendenza a sottostimare le specie estinte di nostri antenati rispetto a quanto si osserva in natura fra i primati: «Se proprio dobbiamo sbagliare – scriveva – sarà meglio eccedere (entro limiti ragionevoli) nel riconoscere forse troppe piuttosto che troppo poche specie»; la qual cosa ci darà maggiori capacità di meglio discernere le traiettorie evolutive sottese all'evidenza fossile e di venire a capo del groviglio o, come si direbbe oggi, del «cespuglio».

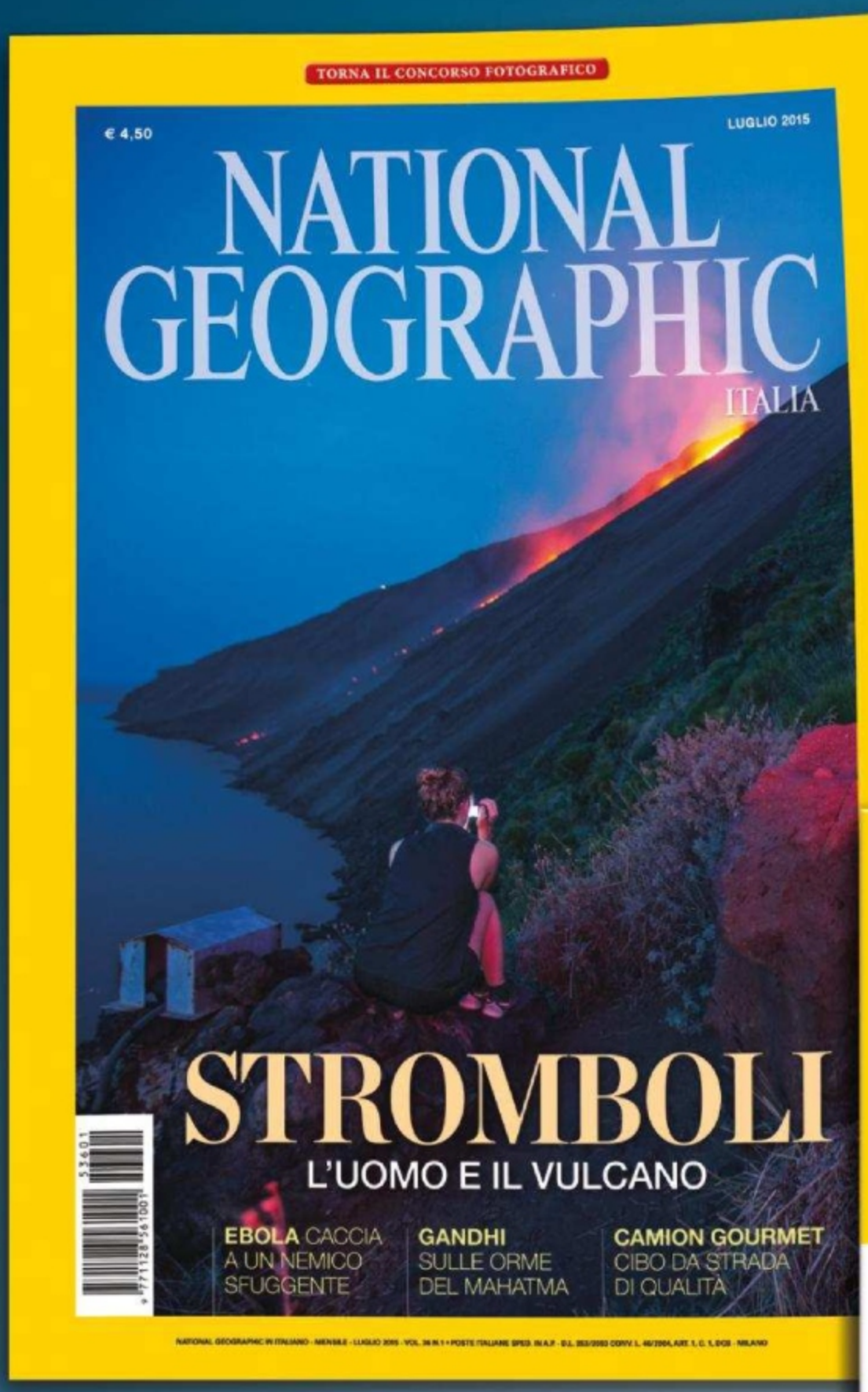
Proprio la metafora del cespuglio (*bush*) applicata all'evoluzione umana deriva dalla biologia evoluzionistica che fa capo al pensiero di Stephen Jay Gould e a un suo celebre articolo del 1976, nella rubrica che aveva su «Natural History»: *Ladders, bushes, and human evolution.*

A questo punto, però, a me sembra (e non solo a me) che la metafora di Gould legittimi alcuni miei colleghi a esagerare con le denominazioni di nuove specie, quasi a voler corrispondere alle attese di un cespuglio sempre più ricco di rami, arbusti e polloni collaterali. Di certo, oggi si denominano specie con molta più attenzione e consapevolezza che in passato e siamo tutti convinti che questa interpretazione vada inquadrata nel contesto paleoecologico e nello scenario bio-evoluzionistico appropriati. Tuttavia, da qualche tempo l'atteggiamento splitter sembra prevalere, anche a dispetto di una ragionevole valutazione di elementi come quelli che riguardano la nuova presunta specie di *Australopithecus*, basata su pochi reperti frammentari, invero piuttosto simili a quelli degli abbondanti, coevi e conterranei resti fossili di *A. afarensis*, Lucy compresa. E purtroppo nel 2005 Ernst Mayr, ormai centenario, ci ha lasciati.

Coeva di Lucy. Frammento di mandibola della presunta nuova specie di *Australopithecus* scoperta in Etiopia nella regione dell'Afar e denominata *A. deyiremeda*.

Cortesia Yohannes Haile-Selassie

Y&R



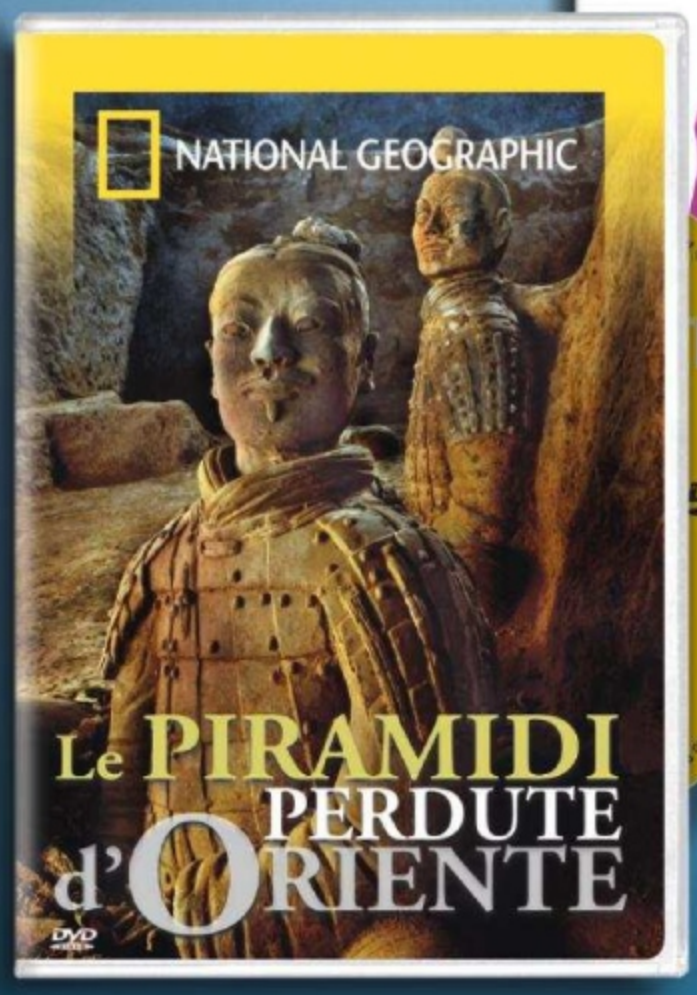
Conosciuta fin dall'antichità come "Faro del Tirreno" per via del fuoco perenne che orientava i marinai, Stromboli mantiene intatto il suo incanto e il suo mistero grazie al rapporto speciale tra gli abitanti e "Iddu", il vulcano.

MAGAZINE 4,50 €

SCOPRI IL MONDO

NATIONAL GEOGRAPHIC

www.nationalgeographic.it



I misteri della Cina sotterranea.

DVD 9,90 €

Tutti i segreti per scattare, modificare e condividere le foto da smartphone e tablet.

VOLUME 9,90 €
in più con il Magazine

IN EDICOLA

Y&R

Oggi puoi leggere Le Scienze direttamente su iPad.

La nuova applicazione disponibile sull'edicola Newsstand di iPad.

Porta Le Scienze sempre con te. Scarica l'applicazione sul tuo iPad e sfoglia i migliori approfondimenti su scienza, tecnologia ed innovazione. Scegli l'abbonamento che preferisci e leggi la rivista in prova gratuita per 1 mese.

Le Scienze

POLITICHE DELLA RICERCA

Sette saggi per la scienza europea

La figura del consigliere scientifico sarà sostituita da un comitato di esperti

Thierry Tronnel/Thierry Tronnel/Corbis

Problemi di autonomia. Il successo della nuova struttura dipenderà soprattutto da come sarà realizzata e dal grado di autonomia con cui sarà messa in condizione di lavorare. (A fianco, il Commissario europeo alla ricerca, scienza e innovazione Carlos Moedas)

Ci sono voluti sei mesi e tante polemiche, ma forse ne varrà la pena. La Commissione Europea ha deciso come sostituire la figura del *chief scientific adviser*, il principale consigliere della presidenza per le questioni scientifiche. Il suo posto sarà preso da un organo collegiale, un «gruppo di alto livello» di sette esperti da nominare entro fine anno. Il ruolo era stato creato nel 2012 dall'allora presidente della commissione Barroso, e assegnato alla microbiologa britannica Anne Glover, già titolare dello stesso incarico in Scozia. Ma lo scorso novembre il nuovo presidente, Jean-Claude Juncker, l'ha abolito.

La decisione ha sollevato un vespaio nella comunità scientifica – e sulla stampa, soprattutto britannica – visto anche il buon lavoro riconosciuto a Glover. Si temeva che la commissione facesse marcia indietro sulla necessità di politiche informate (anche) dalle conoscenze scientifiche. E che la scelta fosse un cedimento a Greenpeace e ad altri gruppi che avevano chiesto la soppressione del ruolo giudicato troppo accentratore, opaco e vulnerabile alle pressioni dell'industria.

Gli ambientalisti avevano criticato pesantemente Glover per avere, tutto sommato, ribadito un'ovvietà: che non ci sono ragioni scientifiche per bandire *tout court* le colture geneticamente modificate. Junker assicurava invece di credere nel valore della consulenza scientifica indipendente e aveva incaricato il Commissario alla ricerca, Carlos Moedas, di studiare un modello più efficace. La stessa Glover del resto lamentava i limiti del suo ruolo per come era strutturato, con un budget scarso e uno staff ridotto, che rendeva difficili interventi incisivi nei complessi meccanismi decisionali europei. Il nuovo modello è stato presentato a fine maggio. I sette esperti potranno contare su circa 25 collaboratori e su una stretta cooperazione con altre istituzioni scientifiche europee e con le accademie nazionali, finanziata da una voce di budget dedicata.

«Sulla carta è una soluzione brillante per attingere a un pool di esperti molto più ampio», commenta su «Science» James Wilsdon, docente di scienza e democrazia all'Università del Sussex. «Molto però dipenderà da come sarà realizzata». Il nuovo comitato avrà la stessa autonomia e libertà di prendere posizioni anche scomode, come ha fatto Glover sugli organismi geneticamente modificati, o dovrà limitarsi a rispondere ai quesiti della commissione? Saranno davvero selezionate le figure più adatte nel continente, privilegiando magari un esperto di *policy* su un premio Nobel, e sfuggendo ai soliti vincoli degli equilibri nazionali? In caso positivo, l'Europa «ha l'opportunità di mettere in piedi un sistema interdisciplinare e indipendente di livello davvero mondiale».

Giovanni Sabato

ASTRONOMIA

Come si spengono le galassie

A interrompere la formazione di nuove stelle è il mancato apporto di gas dallo spazio

Un gruppo di astronomi ha individuato il meccanismo che impedisce alle galassie di generare nuove stelle: lo «strangolamento». Secondo la ricerca guidata da Yingjie Peng, dell'Università di Cambridge, e pubblicata su «Nature», è infatti il mancato apporto di gas proveniente dallo spazio intergalattico a costringere una galassia a interrompere il processo di formazione stellare. Una galassia, quindi, una volta consumato tutto il gas freddo presente al suo interno per produrre nuove stelle, non sarebbe in grado di accenderne di nuove perché non più alimentata da un'adeguata quantità di gas in entrata. Ecco perché gli astronomi hanno usato il termine «strangolamento»: una galassia soffoca per mancanza di gas in ingresso proprio come un uomo soffoca a causa del mancato apporto di ossigeno ai polmoni.

La scoperta dirime la questione sulle reali cause dell'interruzione del processo di formazione stellare. Secondo un'altra ipotesi, infatti, una galassia può perdere rapidamente tutta la propria riserva di gas a causa di processi interni, come le esplosioni di supernove e le conseguenti onde d'urto, capaci di espellere il gas residuo fuori dalla galassia, o esterni, come la rimozione del gas interstellare, strappato dalla galassia a causa della pressione prodotta dal movimento nel mezzo intergalattico (*ram pressure stripping*).

Peng e colleghi hanno studiato gli spettri di oltre 26.000 galassie dell'universo vicino selezionate dalla Sloan Digital Sky Survey. Fra queste, 4000 hanno ancora attività di formazione stellare, mentre la maggioranza è di tipo quiescente. Il parametro oggetto di analisi era la metallicità, cioè l'abbondanza di elementi chimici oltre idrogeno ed elio. Questi elementi pesanti sono prodotti all'interno delle stelle. La scoperta che le galassie quiescenti hanno sistematicamente metallicità più alta di quelle con formazione stellare attiva significa quindi che le prime continuano ad accendere stelle fino al totale esaurimento del gas disponibile. Nell'altra ipotesi, infatti, l'interruzione rapida della formazione stellare bloccherebbe anche l'aumento di metallicità.

Emiliano Ricci

STScI/NASA/Corbis (*galassia*); Hulton-Deutsch Collection/CORBIS (*Schrödinger*)

Spremuta di gatto per computer quantistici

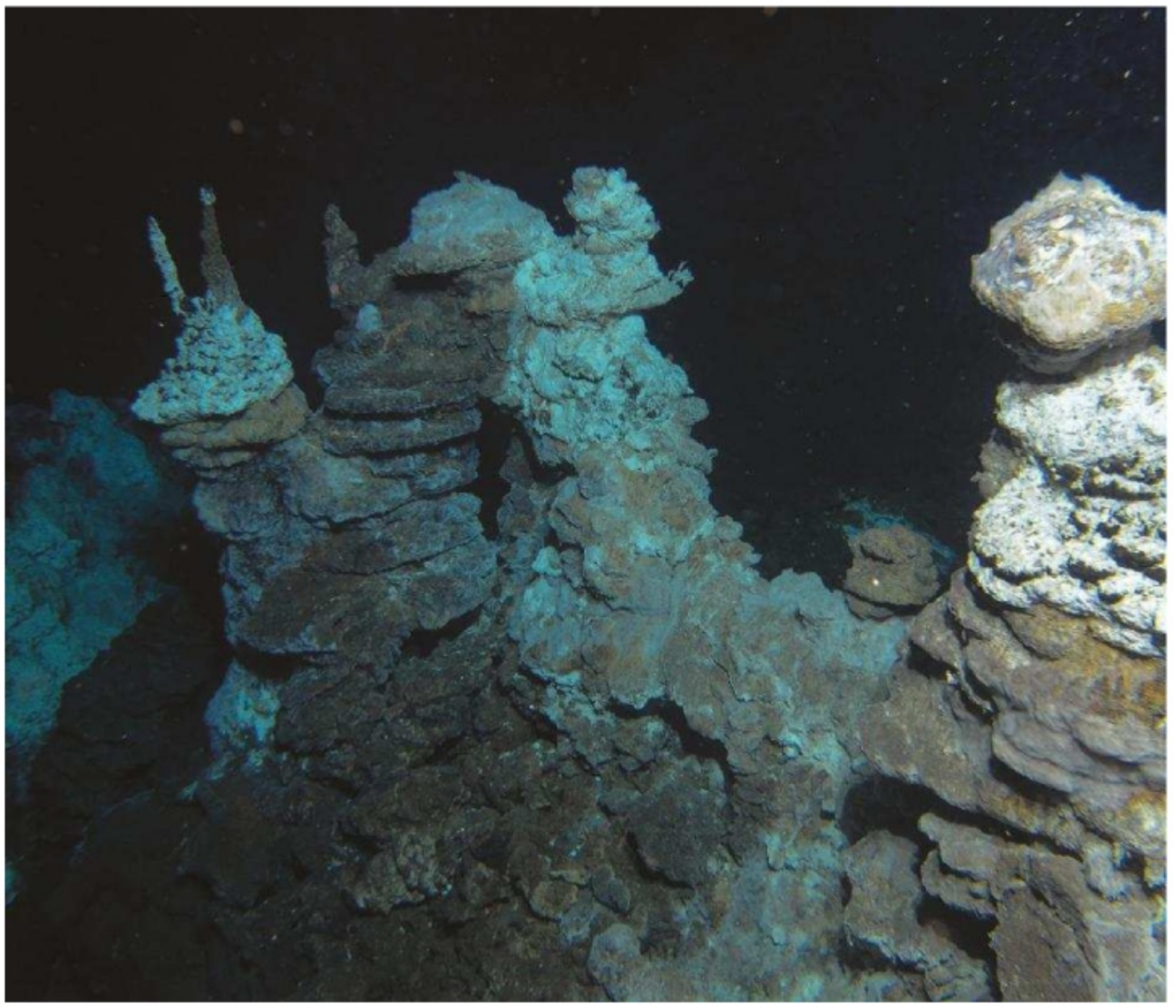
Non serve chiamare la Protezione animali, anche se il felino vittima di questa nuova trovata dei fisici può di buon grado dirsi perseguitato: è sempre lui, il gatto di Schrödinger. Dopo essere stato rinchiuso in scatole con marchingegni al cianuro comandati dal decadimento radioattivo ed esserne uscito né più vivo né più morto, ecco che qualcuno ha avuto l'idea di «spremerlo». In realtà a essere spremuto è il suo grado di incertezza, il cosiddetto *entanglement* quantistico, per cui tra due sistemi spazialmente separati esiste una correlazione a distanza tra le loro quantità fisiche. Ne consegue che la misura di una proprietà osservabile dell'uno determina istantaneamente anche il valore della proprietà per l'altro sistema in gioco. Inoltre, per il principio di indeterminazione di Heisenberg, non è possibile conoscere contemporaneamente con certezza il valore di due variabili coniugate: per esempio, posizione e velocità di una particella. All'aumentare della precisione di una variabile, cresce l'incertezza sul valore della variabile coniugata. In uno «stato quantico spremuto» (*squeezed quantum state*), invece, se le particelle sono sottoposte a una particolare preparazione, le grandezze possono essere misurate in modo più accurato, accettando però una conoscenza meno precisa dell'altra misura. In questo caso, allora, la preparazione della particella è noto come «spremitura» perché l'incertezza in una variabile è ridotta (spremuta). Ebbene, fisici del Politecnico di Zurigo hanno messo a punto una tecnica per ottenere in modo controllato questi stati squezeed in uno ione calcio intrappolato in un campo elettrico, creando una situazione in cui lo ione si trova contemporaneamente in due posizioni distanti. La ricerca, pubblicata su «Nature», è un importante progresso verso la realizzazione di computer quantistici e la costruzione di nuovi strumenti di misurazione ultra-precisi. Con buona pace del gatto.

Marina Semiglia

EVOLUZIONE

L'origine degli eucarioti

Individuata una forma intermedia tra cellule semplici e complesse nelle profondità dell'oceano



Cortesia: R.B. Pedersen, Centro per geobiologia dell'Università di Bergen

Si nascondeva nelle profondità dell'Oceano Atlantico settentrionale un microrganismo che fa da ponte fra procarioti ed eucarioti. Fra le semplici cellule procariote dei batteri e degli Archaea, e le nostre cellule eucariote dotate di nucleo, organuli e altre strutture membranose interne, il divario è notevole e finora non si conoscevano forme intermedie che indicassero com'è avvenuta la transizione.

Gli eucarioti sono più simili agli Archaea, e l'albero evolutivo classico dei tre domini vedeva una separazione fra i batteri e una linea indefinita, che ha condotto a un ignoto antenato comune da cui poi si sono distinti gli archea e gli eucarioti. Una visione più recente vede invece gli eucarioti come discendenti diretti di un preciso gruppo di Archaea, ed è ora corroborata dalla scoperta, presentata su «Nature» da Thijs Ettema dell'Università di Uppsala in Svezia.

Analizzando a tappeto il DNA in un campione di sedimenti oceanici, Ettema ha individuato le sequenze di tre organismi che rientrano in pieno fra gli Archaea, ma mostrano spiccate affinità con gli eucarioti, fra cui alcuni geni mai trovati prima nei procarioti. Nell'albero evolutivo che si ricava includendo queste sequenze, gli eucarioti appaiono infatti come un ramo degli Archaea.

Per uno dei tre organismi, battezzato *Lokiarchaeum*, la sequenza è particolarmente completa e mostra geni di tipo eucariotico per proteine coinvolte nel funzionamento del citoscheletro e delle membrane, in processi come la fagocitosi di materiali o altri organismi dall'esterno e il trasporto di sostanze nella cellula. Si può immaginare quindi che *Lokiarchaeum* abbia sistemi di membrane interne simili in qualche misura a quelle eucariotiche, e che un antico microrganismo con analoghe capacità abbia inglobato i batteri da cui derivano i mitocondri, e sviluppato le altre strutture complesse degli eucarioti. Per chiarirlo, verificando che cosa fanno davvero questi geni, bisognerà isolare il microrganismo e coltivarlo, obiettivo a cui Ettema sta lavorando. E ovviamente, è presumibile che esistano altri microrganismi simili a questi ancora da scoprire, che potranno chiarire molti dettagli sull'origine degli eucarioti.

Giovanni Sabato

Un DNA a sei basi?

I libri di testo insegnano che il DNA è costituito da unità chiamate nucleotidi che, a loro volta, sono formate da quattro basi azotate, indicate con lettere: adenina (A), timina (T), citosina (C) e guanina (G). Negli anni ottanta, al quartetto si aggiunse una quinta base, la metil-citosina (mC), coinvolta nella regolazione dell'espressione genica. Un articolo pubblicato su «Cell» da ricercatori del Bellvitge Biomedical Research Institute analizza ora i risultati di studi effettuati sul DNA di alghe unicellulari (*Chlamydomonas*), vermi (*Caenorhabditis*) e moscerini della frutta (*Drosophila*) concludendo che c'è una sesta base: la metil-adenina (mA).

L'ultima arrivata non è affatto una sorpresa per i biologi: era già stata osservata nei batteri, dove aiuta a prevenire la contaminazione da materiale genetico esogeno. Tuttavia i nuovi studi provano che, sebbene poco comune (motivo per cui è stato necessario attendere lo sviluppo di metodi analitici molto sensibili per rilevarla), la mA si trova anche nel DNA di organismi complessi, dove controlla la trascrizione dei geni, e sembra giocare un ruolo importante nelle cellule staminali e nel corso dei primi stadi dello sviluppo. Se anche il DNA dei mammiferi abbia una sesta base, e quali siano le sue funzioni, sono le prossime domande a cui bisognerà trovare risposta.

Martina Saporiti

ANTROPOLOGIA

I tre padri neolitici dei maschi europei

Le linee di discendenza maschile di quasi due europei su tre iniziarono intorno a 3000 anni fa

Circa due maschi europei su tre discendono da appena tre uomini vissuti intorno a 3000 anni fa. Questa sorprendente conclusione si deve a un gruppo di genetisti dell'Università di Leicester, diretti da Mark Jobling, che, come riferiscono su «Nature Communications», hanno analizzato la sequenza di basi del cromosoma Y, che passa di padre in figlio, di 334 uomini europei e mediorientali, alla ricerca dei loro comuni padri ancestrali. Confrontando i cromosomi Y presenti in gruppi di uomini è infatti possibile ricostruire la sequenza dell'Y dell'individuo che ha iniziato la linea di discendenza maschile di cui fanno parte i soggetti studiati e, attraverso il numero di mutazioni casuali accumulatesi nel tempo, risalire a quando visse il «patriarca» in comune.

Ebbene, lo studio di Jobling e colleghi ha concluso che il 64 per cento degli uomini del campione deriva da appena tre padri ancestrali vissuti nell'Età del bronzo, fra 2100 e 4200 anni fa.

In quel periodo l'Europa conobbe una «rivoluzione culturale», dovuta a invasioni, diffusione di agricoltura, cavalli e uso dei metalli. I risultati dello studio suggeriscono che tutto questo portò a un boom demografico e alla nascita di ristrette *élite* dominanti, in grado di avere, e far sopravvivere, molti più figli degli altri. La scoperta di Jobling però andrà confermata, dato che contrasta con precedenti analisi del DNA che avevano collocato il boom demografico europeo intorno ai 10.000 anni fa.

Alex Saragosa

Un cugino di Lucy

Sembra affollarsi di ominini l'epoca di Lucy. Nella stessa zona dell'Etiopia in cui vivevano Lucy e tanti altri esemplari della sua specie, *Australopithecus afarensis*, pochi anni fa sono stati rinvenuti un pezzo di mascella, due mandibole e alcuni denti attribuiti a un nuovo ominino. Pur rientrando per caratteristiche generali fra gli australopitechi, la mandibola più robusta e di forma un po' diversa e i denti più piccoli indicherebbero infatti che si tratta di una nuova specie, battezzata *Australopithecus deyiremeda*. Così almeno sostiene su «Nature» il suo scopritore, Yohannes Haile-Selassie, del Museo di storia naturale di Cleveland, negli Stati Uniti.

I fossili risalgono a 3,5-3,3 milioni di anni fa, la stessa epoca di *A. afarensis* (fra 3,7 e 3 milioni di anni fa) e di altri ominini scoperti negli ultimi vent'anni, come *Kenyanthropus platyops*, altri australopitechi, e un piede non ascrivibile a nessuna delle specie note. La nuova scoperta rafforzerebbe quindi la visione emergente per cui gli ominini all'epoca erano già abbastanza diversificati, in contrasto con l'idea precedente che la diversità sia rimasta scarsa fino a una radiazione evolutiva iniziata circa 3 milioni di anni fa. Sempre ammesso che il fossile rappresenti davvero una specie nuova, cosa di cui non tutti sono convinti (*si veda l'articolo a p. 22*).

Giovanni Sabato

Sandro Vannini/Corbis

Proteggersi dall'estinzione attraverso il sesso

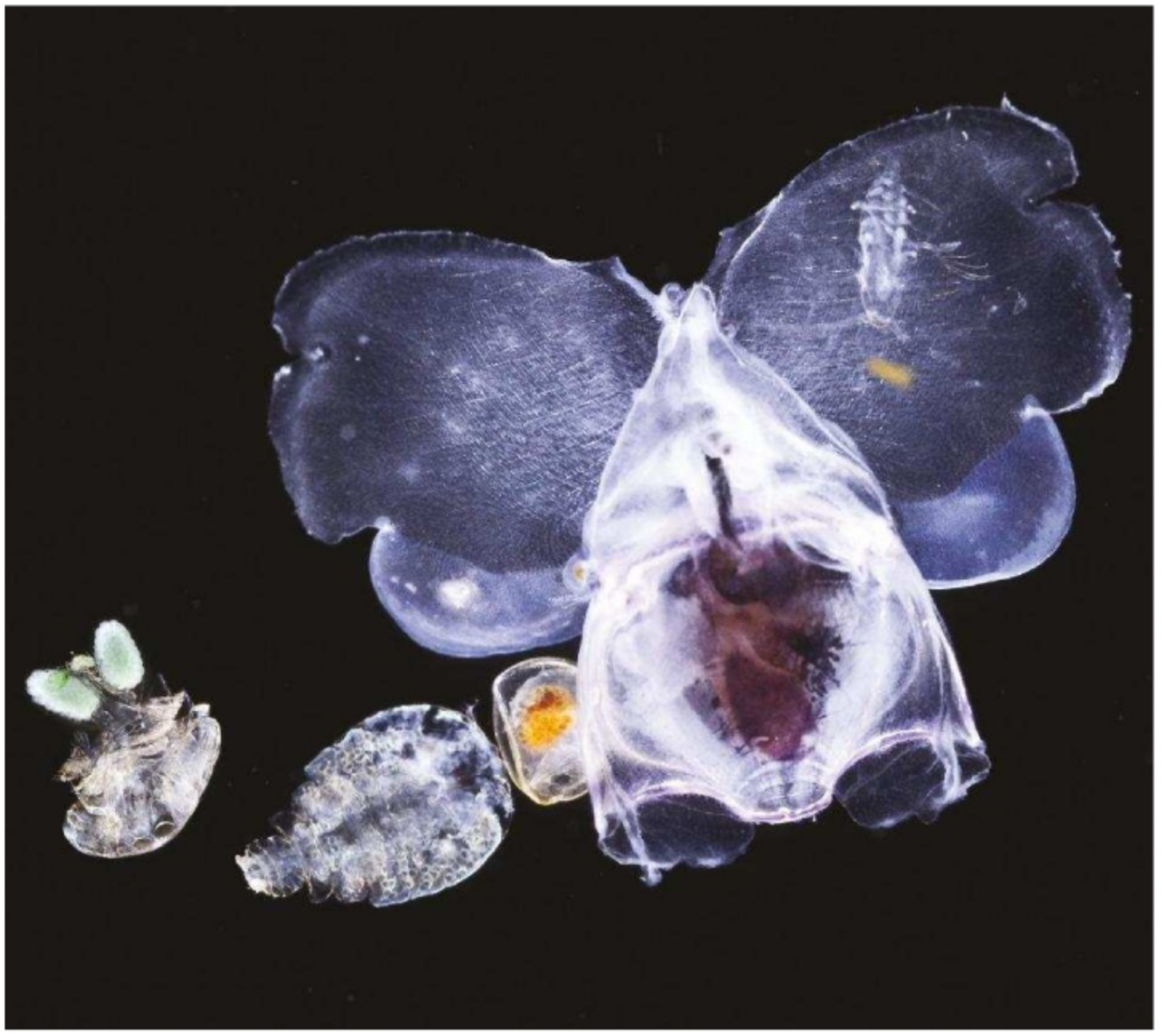
Due sessi distinti che si accoppiano per dare vita a una nuova generazione: la riproduzione attraverso il sesso è diffusa in molte specie, ma il suo successo evolutivo è curioso. È infatti un processo costoso, dato che solo metà degli individui adulti è in grado di mettere al mondo figli e la competizione per garantirsi un partner può essere rischiosa. A che cosa è dovuta quindi l'affermazione di questo tipo di riproduzione? I suoi costi potrebbero essere compensati dai vantaggi della selezione sessuale, il processo che vede spesso i maschi competere per garantirsi la paternità. Questa ipotesi è stata confermata da una ricerca effettuata da biologi dell'Università dell'East Anglia, nel Regno Unito. Secondo lo studio, pubblicato su «Nature», la selezione sessuale agirebbe come un filtro per le mutazioni genetiche negative presenti in una popolazione, riducendo il rischio di estinzione. Che porti a lotte tra pretendenti, lunghi corteggiamenti o allo sviluppo di elaborati ornamenti di piume o pellicce, la selezione sessuale è una delle forze che agiscono sull'evoluzione: descritta già da Charles Darwin, permette solo ad alcuni individui di riprodursi. Se in questo processo gli organismi con mutazioni genetiche deleterie tendono a essere esclusi dall'accoppiamento, ecco che il vantaggio della pratica potrebbe emergere a livello della popolazione. Per verificare questa possibilità, i ricercatori hanno confrontato popolazioni di coleotteri del genere *Tribolium* sottoposte a diverse pressioni di selezione sessuale. Allevando le famiglie di insetti per circa sette anni, gli autori dello studio hanno osservato che i gruppi vissuti in condizioni di selezione sessuale più forte resistevano più agevolmente all'estinzione e mostravano una maggiore *fitness* riproduttiva. Il meccanismo che meglio spiega queste differenze, suggeriscono i ricercatori, è che una forte selezione sessuale impedisca a mutazioni negative di diffondersi e fissarsi in una popolazione.

Valentina Daelli

BIOLOGIA

Tutta la diversità del plancton

Completato lo studio più approfondito sulle comunità di plancton e microrganismi del mondo



Cortesia Christian Sardet /CNRS /Tara Expéditions

Sebbene l'oceano sia il più diffuso ecosistema sulla Terra, la nostra conoscenza a riguardo è ancora molto limitata. Questo discorso vale particolarmente per le comunità planctoniche che abitano gli oceani, nonostante siano alla base delle reti trofiche marine e siano responsabili della produzione annuale di quantità di ossigeno paragonabili a quelle liberate nell'atmosfera dalle foreste pluviali. A colmare parzialmente questa lacuna ci ha pensato uno sforzo di ricerca internazionale, il consorzio Tara Oceans, che ha coinvolto decine atenei e centri scientifici internazionali. Grazie alla spedizione della goletta *Tara*, durata quasi quattro anni tra il 2009 e il 2013, sono stati raccolti e analizzati oltre 35.000 campioni di acque provenienti da 210 siti dislocati in tutto il mondo. Il campionamento si è concentrato sugli organismi di dimensioni comprese tra gli 0,02 micrometri e i pochi millimetri, in combinazione con la raccolta di informazioni su fisica e chimica delle acque.

I risultati della spedizione sono stati presentati in uno speciale su «Science», in cui le microcomunità marine sono state analizzate dal punto di vista ecologico, genetico e tassonomico. Le analisi non si sono limitate allo studio delle decine di migliaia di specie fito- e zoo-planctoniche, molte delle quali rappresentanti organismi finora ignoti alla scienza, ma hanno riguardato anche protozoi, batteri e virus, la cui identificazione è stata possibile grazie al sequenziamento di oltre 7200 miliardi di nucleotidi.

Tra i risultati principali, emergono le prime descrizioni del popolamento delle acque in base alle diverse condizioni ambientali e quelle delle complesse interazioni interspecifiche, nonché i primi studi sull'influenza delle variazioni climatiche sulla struttura delle comunità marine. Nonostante questi risultati si riferiscano quasi esclusivamente alle comunità residenti nei 200 metri superiori della colonna d'acqua, lo strato più produttivo visto che è proprio lì che avviene la fotosintesi, questo sforzo di ricerca segna un'importante svolta nella nostra conoscenza di questo mondo invisibile.

Andrea Romano

L'impronta digitale dei batteri umani

I batteri che vivono nel corpo umano rendono ogni individuo unico, proprio come le impronte digitali o il DNA. Lo sostiene uno studio pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», coordinato da Eric Franzosa, della Harvard T.H. Chan School of Public Health di Boston. L'insieme della popolazione microbica di un organismo, detta microbioma, non è di per sé sinonimo di pericolo. In molti casi il contributo di questi batteri è indispensabile. Possono rappresentare una barriera contro l'aggressione di patogeni. O, come nel caso dei batteri intestinali, aiutare il corpo a metabolizzare alcune molecole utili per la dieta.
I ricercatori hanno estratto i batteri da campioni di feci, saliva e pelle prelevati per un mese dai 242 volontari dello Human Microbiome Project. Grazie a un algoritmo, hanno poi elaborato i dati, confrontandoli con quelli ricavati dagli stessi volontari in visite successive, e da gruppi indipendenti di individui. Hanno così dimostrato che il microbioma lascia in ogni individuo una firma unica, che rimane stabile a distanza di un anno dalla raccolta dei campioni. Secondo lo studio, il microbioma in futuro potrà essere usto, per esempio dalla polizia scientifica, per risalire all'identità di un sospetto. Un po' come già avviene oggi con il DNA.

Davide Patitucci

NEUROSCIENZE

L'altra geometria delle cellule a griglia

I neuroni che elaborano una mappa dell'ambiente sono attivi anche in spazi non euclidei

Le cellule a griglia, la cui scoperta è valsa il premio Nobel per la medicina del 2014, sono particolari tipi di neuroni localizzati nella corteccia entorinale (una zona dell'ippocampo) che si attivano quando un soggetto si trova in una specifica posizione all'interno di un ambiente: una rete neurale formata da questo tipo di cellule costituisce di fatto una mappa mentale dello spazio circostante. Spazio circostante che, tuttavia, è da intendersi in senso convenzionale, vale a dire quello in cui, per esempio, le rette parallele non si incontrano mai e la somma degli angoli interni di un triangolo è sempre 180 gradi: questo tipo di spazio è detto «euclideo».

Ebbene, alcuni scienziati della Scuola Internazionale superiore di studi avanzati (SISSA) di Trieste si sono chiesti se le cellule a griglia potrebbero esistere anche in situazioni in cui la vita si svolge in spazi non euclidei e come si svilupperebbero in questo caso le mappe cerebrali. I ricercatori hanno provato a rispondere a queste domande con un sofisticato modello matematico di tipo auto-organizzativo, simulando il comportamento di cellule a griglia «artificiali» in grado di apprendere esplorando l'ambiente.

I risultati hanno dimostrato che gli schemi di attivazione che si sviluppano in uno spazio a curvatura costante, come una sfera, hanno le stesse simmetrie di quelli rilevati nella realtà del mondo convenzionale. Se gli esperimenti su topi allevati su una superficie curva dovessero confermare che effettivamente le cellule a griglia vengono programmate in funzione dell'ambiente, si potrebbe ipotizzare un loro funzionamento anche in spazi astratti, aprendo nuovi e futuribili scenari di ricerca. Alessandro Treves, coordinatore dello studio pubblicato su «Interface», osserva che «la cultura umana ha impiegato millenni per arrivare a una formulazione matematica degli spazi non euclidei, ma è molto probabile che il nostro cervello ci sarebbe potuto arrivare molto prima. In effetti è probabile che il cervello dei roditori ci arrivi quotidianamente con grande naturalezza».

Marina Semiglia

Le capacità analogiche che precedono lo sviluppo del linguaggio

Ragionamento astratto, sequenziamento, *problem solving*: le funzioni cognitive complesse fanno parte di quelle particolari capacità del nostro cervello che rendono la nostra specie differente dalle altre. In natura troviamo traccia di queste abilità solo in alcuni mammiferi e uccelli, ma non raggiungono i livelli di astrazione e ragionamento tipici della mente umana. Ma quando nascono queste funzioni cognitive superiori? È necessario aver già sviluppato le capacità linguistiche, o nasciamo già equipaggiati per questo tipo di abilità? Secondo uno studio pubblicato su «Child Development» è vera la seconda ipotesi: funzioni cognitive complesse come le capacità analogiche precedono il linguaggio e sono presenti già in bambini di pochi mesi di vita, ma vanno comunque apprese.

Per effettuare gli esperimenti, i ricercatori hanno indagato una capacità analogica in particolare, quella di uguaglianza-diversità, considerata la più semplice tra le relazioni analogiche e tra le più studiate nella letteratura scientifica. Bambini in età prelinguistica, dai sette ai nove mesi, sono stati quindi «addestrati» a riconoscere coppie di pupazzi, uguali o diversi, per poi verificare se erano in grado di generalizzare e usare la proprietà osservata anche per nuove coppie di oggetti che non fossero necessariamente giocattoli. Dai risultati è emerso che anche bambini così piccoli sono in grado di individuare un'analogia tra due o più elementi e poi riconoscerla in nuovi oggetti, ma vederli una sola volta non è sufficiente: hanno bisogno di diverse prove per capire la relazione esistente. Anche se delle forme di ragionamento astratto sono già presenti a partire dai sette mesi di vita, i bambini non sanno riconoscere subito le somiglianze tra più oggetti perché non nasciamo con tutti gli schemi per le relazioni di uguaglianza-diversità già codificati nel cervello. Siamo quindi capaci di effettuare un ragionamento astratto prima di imparare a comunicare con le parole, ma dobbiamo fare un po' di esperienza prima di riuscire a riconoscere le analogie in modo corretto.

Mattia Maccarone

CLIMA

L'effetto vicino delle emissioni

Alcune simulazioni hanno mostrato l'impatto delle emissioni di gas serra a scala locale

Thom Lang/Corbis (*a fronte, in alto*); Oksana Kuzmina/Shutterstock (*a fronte, in basso*); Les Stone/Corbis (*emissioni/ anidride carbonica*)

Anche se il clima sulla Terra è sempre cambiato, pensiamo all'alternarsi di ere glaciali e periodi più caldi, sappiamo che negli ultimi tempi l'influsso umano ha creato un rapido riscaldamento sul pianeta, dovuto in gran parte alla forte emissione di gas a effetto serra come l'anidride carbonica. Questo spiega bene l'aumento della temperatura media globale, ma a livello locale, dove la variabilità naturale si sente di più, tutto ciò è meno chiaro. In particolare, quanto ha influito l'uomo sugli eventi estremi che stiamo vedendo sempre più spesso a scala locale? Non saranno dovuti a fluttuazioni naturali del clima?

Andrew King, dell'Università di Melbourne, ha analizzato questo problema usando la serie storica di temperature più lunga del mondo, quella di una zona piuttosto estesa dell'Inghilterra centrale. Il loro studio è stato pubblicato su «Environmental Research Letters». Focalizzandosi sulle temperature annuali, King ha analizzato quanto le emissioni di gas serra abbiano reso probabili anni come il 2014, che in quella zona è stato il più caldo dal 1659.

La strategia seguita dal ricercatore è stata duplice. Da un lato King ha preso una serie di modelli climatici e ha effettuato simulazioni nelle condizioni di gas serra realmente riscontrate a partire dal 1900; poi li ha fatti «correre» facendo finta che queste condizioni rimanessero bloccate al 1900. In questo modo, King ha trovato che la probabilità di avere anni caldi come il 2014 è aumentata di ben 13 volte a causa dell'influsso umano, esplicatosi tramite le emissioni di gas serra. D'altro canto, il ricercatore ha effettuato anche uno studio puramente statistico sulle osservazioni, trovando che circa i due terzi del riscaldamento avvenuto in Inghilterra centrale nel corso del Novecento può essere attribuito alle azioni umane.

Questi risultati sono notevoli perché mostrano l'importanza degli influssi antropici anche a scala ridotta e perché i due metodi adottati, pur molto diversi tra loro, sono estremamente concordi. Tutto ciò porta ad aumentare la fiducia nell'affidabilità di questi risultati.

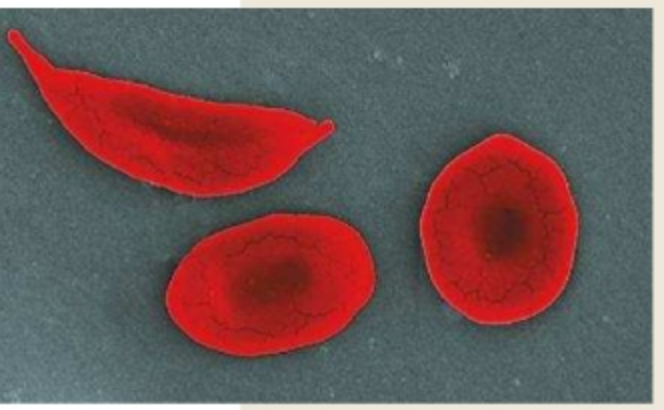
Antonello Pasini

Sempre più cemento e asfalto in Italia

Quasi il 20 per cento del territorio italiano entro 300 metri dal mare è ormai coperto di cemento e asfalto. Lo rivela il rapporto *Il consumo di suolo* del 2015 pubblicato dall'ISPRA che, grazie a nuove rilevazioni aerofotografiche ad alta risoluzione, offre altri dati impressionati, come il fatto che la cementificazione non si è fermata anche dove sarebbe proibita: sono stati ricoperti anche il nove per cento delle aree a rischio idrogeologico, il cinque per cento delle rive fluviali e lacustri, il due per cento di zone umide e terreni di elevata pendenza e persino 34.000 ettari di aree protette. Questa dissennata impermeabilizzazione del suolo, dovuta per il 40 per cento alle strade, pur interessando direttamente solo il sette per cento della superficie italiana mette in pericolo metà della superficie del paese a causa dell'alterazione del regime delle acque. Non mancano ricadute sulla produzione di cibo: il 60 per cento dei suoli perduti era agricolo e già il solo 12 per cento cementificato nella pianura padana ha fatto perdere a 100.000 italiani la possibilità di alimentarsi con prodotti locali di qualità. Unica buona notizia, dal 2008 la velocità del consumo di suolo rallenta e, per la prima volta dal 1950, la superficie impermeabilizzata pro capite è diminuita: dai 350 metri quadri del 2013 ai 345 del 2014.

Alex Saragosa

Editing per la cura delle anemie



Il cambiamento di una singola base nel DNA di globuli rossi ha permesso a un gruppo di ricercatori australiani di aumentare la produzione di emoglobina nelle cellule trattate. Questa tecnica di editing del genoma, sostiene Beeke Wienert dell'Università del New South Wales, che ha diretto lo studio pubblicato su «Nature Communications», potrebbe fornire un grande aiuto nel trattamento di malattie ereditarie, come anemia falciforme o talassemia. Gli scienziati sono partiti dall'osservazione che i pazienti che soffrono di questi disturbi possono ottenere sollievo dai sintomi grazie a una mutazione che può verificarsi in natura, attivando la produzione di emoglobina fetale. Il gene che codifica per questa proteina è espresso durante lo sviluppo del feto e rimane per lo più silente dopo la nascita. In alcune persone però il gene si attiva in età adulta, grazie a una mutazione che i ricercatori hanno cercato di riprodurre. I risultati sono promettenti: la tecnica, che permette di modificare il genoma in modo preciso, potrebbe fornire un'alternativa più efficace e sicura rispetto ad altri trattamenti. La mutazione introdotta inoltre non sarebbe ereditabile, evitando le polemiche che hanno investito le tecniche di modifica del genoma embrionale. (**VaDa**)

Un nuovo tipo di staminali pluripotenti

Un nuovo tipo di cellule staminali pluripotenti, capaci cioè di formare qualsiasi tessuto, si aggiunge ai due già isolati, le staminali embrionali, ricavate dagli embrioni preimpianto, e quelle dell'epiblasto, da embrioni post impianto, già orientate verso determinate vie differenziative. Ma si sospettava che ce ne fossero altre, rappresentative di fasi diverse dello sviluppo. Juan Carlos Izpisua Belmonte, del Salk Institute for Biological Studies di La Jolla, ne presenta ora una su «Nature»: le staminali pluripotenti regione-selettive. Nell'embrione appena impiantato le cellule sono già distinte in base alla regione che occupano, e le nuove cellule provengono dalla zona posteriore e ne conservano le caratteristiche. Se iniettate in un embrione della giusta età, colonizzano solo questa regione, da cui il loro nome.

Queste cellule sono state ricavate nel topo, nell'essere umano e in altri primati, il che fa confidare nella solidità del risultato, anche se resta da chiarire se esistano nell'embrione o siano in parte frutto dei trattamenti in coltura. Comunque sono facili da coltivare e modificare geneticamente, e sebbene ancora pluripotenti appaiono sull'orlo del differenziamento: questo potrebbe renderle ideali per studiare come si decide il differenziamento di una linea cellulare, sia per future applicazioni cliniche. (GiSa)

L'evoluzione del becco

Uno studio su «Evolution» ha replicato in laboratorio le prime fasi dell'evoluzione del becco degli uccelli, che ha permesso a questi animali di colonizzare le più disparate nicchie ecologiche. Usando informazioni fossili come guida, Bhart-Anjan S. Bhullar della Harvard Univesity ha fatto regredire allo stato ancestrale lo sviluppo della regione cefalica di embrioni di pollo, rendendola con un muso e palato simili a quelli dei loro antenati dinosauri piumati.

I responsabili di questa alterazione morfologica sono due geni coinvolti nella formazione della parte frontale del cranio la cui inibizione all'inizio dell'ontogenesi limita lo sviluppo delle ossa premaxillari alla regione distale della mascella, come in tutti i vertebrati, anziché lasciarle crescere più a lungo come negli uccelli. Inoltre, anche l'osso palatale si modifica divenendo piatto e fondendosi con le ossa adiacenti, come in mammiferi e rettili, andando a costituire la parte superiore del becco. (AnRo)

Un'immunità stagionale da espressione genetica

Le statistiche parlano chiaro: le persone stanno meglio d'estate, mentre in inverno condizioni come il diabete o i disturbi cardiaci si aggravano. A spiegare l'insolita casistica dei bollettini medici arriva uno studio pubblicato su «Nature Communications» da un gruppo guidato da Xaquin Castro Dopico, dell'Università di Cambridge, che lega l'efficienza del sistema immunitario alla «stagionalità» dell'espressione genica. Analizzando il genoma di globuli bianchi prelevati da oltre 16.000 persone in tutto il mondo, i ricercatori hanno scoperto che circa un quarto degli oltre 22.000 geni studiati era trascritto con frequenza diversa a seconda della stagione. Molti di questi geni sintetizzano proteine che interferiscono con la risposta immunitaria e quindi dai loro livelli di trascrizione dipende la nostra suscettibilità alle malattie. È il caso di *ARNTL*, un gene che nei topi (e probabilmente anche negli esseri umani) «spegne» le infiammazioni ed è più attivo durante l'estate. Questo significa che in inverno l'organismo è meno preparato a combattere le infiammazioni, un fattore di rischio per molte malattie. Altra sorpresa è stata scoprire che alcuni geni legati alla risposta individuale alle vaccinazioni sono più attivi se fa freddo, il che suggerisce di programmare le profilassi in inverno. (**MaSa**)

Kallista Images/SuperStock/Corbis (*globuli rossi*); Antoine Boureau/www.biosphoto.com/Biosphoto/Corbis (*tucano*); Anthony West/Corbis (*immunità stagionale*)

Vedere con la pelle

Il polpo è capace di cambiare colore e consistenza della pelle per mimetizzarsi e per comunicare: usa gli occhi per inviare i segnali utili ai cromatofori, cellule che sulla pelle si espandono e si contraggono per alterarne aspetto e colore. Ora una scoperta pubblicata sul «Journal of Experimental Biology» aggiunge un'altra capacità alla lista delle sorprendenti abilità di questo animale: può «vedere» con la pelle, senza ricevere input da occhi e sistema nervoso centrale.

Questo grazie alla presenza su tutto il corpo delle opsine, proteine sensibili alla luce che si trovano all'interno del suo occhio. In questo modo il polpo non vede la luce come la vedrebbe con occhi e cervello, ma ne percepisce il cambiamento di intensità. Lo ha dimostrato un esperimento con *Octopus bimaculoides*. Quando sono colpiti da un fascio di luce, i cromatofori di questi esemplari si espandono e il colore della pelle muta. A luce spenta gli organi si rilassano e la pelle torna al suo colore. (SaSt)

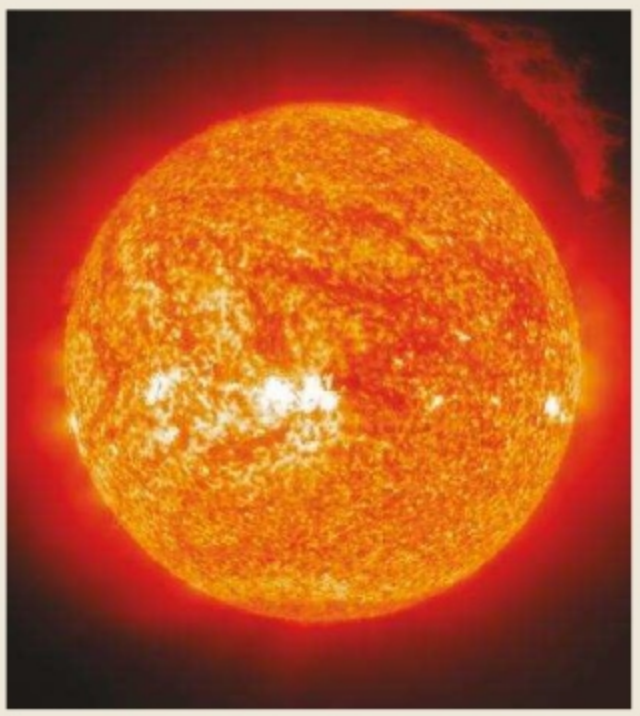
Raggi gamma da materia oscura?

Gli astrofisici sono da tempo alla ricerca di segnali diretti provenienti dalla materia oscura, la cui presenza si manifesta tipicamente con la sua influenza gravitazionale sulla materia luminosa. L'ultimo studio in questa direzione, in pubblicazione su «Physical Review Letters», porta la firma di un gruppo quasi tutto italiano guidato da Marco Regis, dell'Università di Torino e dell'Istituto nazionale di fisica nucleare.

Partendo dall'idea che la materia oscura sia costituita da particelle e antiparticelle che, seppure debolmente interagenti con la materia ordinaria (acronimo WIMP, da *weakly interacting massive particles*), possano comunque collidere fra loro, decadere e annichilare emettendo radiazione elettromagnetica, Regis e collaboratori sono andati a cercare l'eventuale presenza di emissione gamma proveniente da questi processi nelle sorgenti extragalattiche del catalogo 2MASS, usate appunto come traccianti gravitazionali della materia oscura. Filtrata l'emissione gamma proveniente dalle sorgenti astrofisiche, i ricercatori hanno scoperto una correlazione fra emissione gamma residua e distribuzione prevista di materia oscura, fornendo anche un intervallo di possibili valori di massa per le WIMP: da 10 a 100 gigaelettronvolt. Non resta che aspettare ulteriori conferme. (EmRi)

Prevedere le tempeste solari

Le ricerche mirate a prevedere il comportamento della nostra stella – in termini di attività magnetica ed emissione di vento solare – acquisiscono sempre più importanza, proprio perché le particelle cariche emesse dal Sole in arrivo sulla Terra possono creare gravi disturbi magnetici ed elettrici e anche interruzioni delle comunicazioni via satellite. Un importante passo in avanti in questo senso è arrivato dallo studio dell'evoluzione di un'emissione di massa coronale espulsa dal Sole il 7 gennaio 2014. La ricerca, pubblicata su «Nature Communications» da un gruppo internazionale guidato da Christian Möstl dell'Accademia delle scienze austriaca, mostra infatti



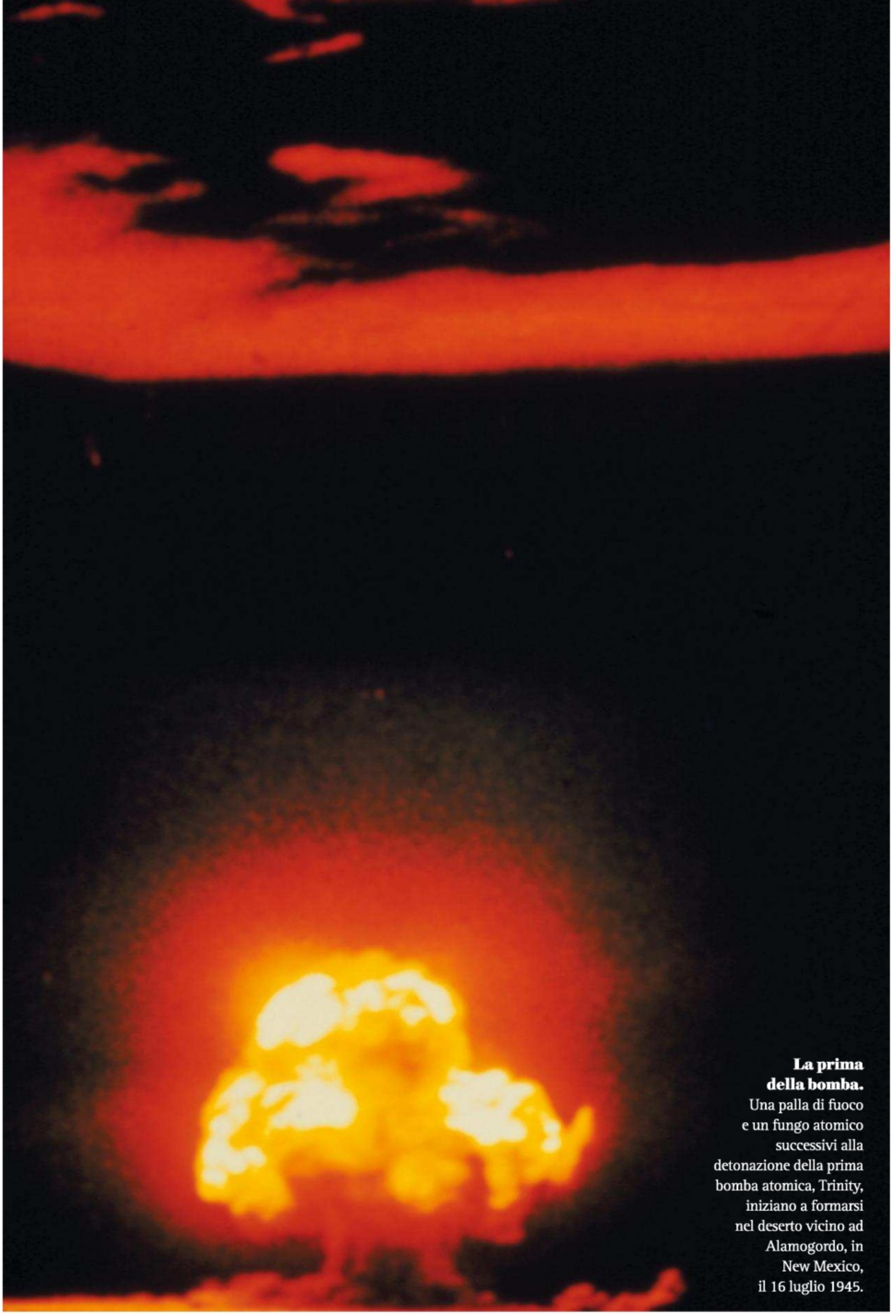
la dinamica seguita da questa tempesta solare, che secondo i calcoli avrebbe dovuto colpire la Terra. In previsione del suo arrivo fu quindi lanciato un allarme, ma, contrariamente a quanto atteso, non si osservò alcun effetto catastrofico. A deviare le particelle dalla traiettoria prevista, come mostrano i dati raccolti da sette missioni spaziali ed elaborati dai ricercatori per studiare il loro moto fino a Marte, furono gli stessi campi magnetici solari, capaci di incanalare l'emissione in direzione longitudinale, invece che in quella radiale (ovvero verso la Terra). Si aggiunge così un nuovo importante tassello ai modelli di propagazione di queste tempeste. (EmRi)

Norbert Wu/Science Faction/Corbis (*Octopus bimaculoides*); cortesia MPK-WTAP (*pietra scheggiata*); NASA-SOHO - digital version © Science Faction/Science Faction/Corbis (*Sole*)

I più antichi strumenti litici

Importante scoperta nella regione del lago Turkana, in Kenya: si tratta di alcune pietre scheggiate risalenti a 3,3 milioni di anni fa e descritte su «Nature». Analisi morfologiche hanno escluso che la loro formazione possa essere il risultato dell'azione casuale di agenti naturali, suggerendone quindi che siano stati fabbricati da un nostro antenato. Dato che i più antichi strumenti in pietra noti risalivano a circa 2,6 milioni di anni fa ed erano attribuiti a *Homo habilis*, la specie del genere *Homo* più arcaica finora conosciuta, la

scoperta retrodata di 700.000 anni il primo uso di utensili da parte di ominidi bipedi. La produzione litica è da sempre associata al genere *Homo*, la scoperta quindi farebbe pensare a un'origine precedente del nostro genere, in accordo con un recente ritrovamento fossile che ne ha suggerito la presenza intorno a tre milioni di anni fa. In alternativa, potrebbero essere stati fabbricati da australopitechi o da *Kenyanthropus platyops*, l'unica specie di ominino nota in quel periodo nella regione, ma la produzione litica in queste specie è stata solo ipotizzata. A prescindere dall'autore, è istituito un nuovo periodo culturale umano attribuito a *H. habilis*: il Lomekwiano. (AnRo)



La prima della bomba. Una palla di fuoco e un fungo atomico successivi alla detonazione della prima bomba atomica, Trinity, iniziano a formarsi nel deserto vicino ad Alamogordo, in New Mexico, il 16 luglio 1945.

U.S. Army/SPL/Contrasto

NUCLEARE

Settant'anni con la BOMBA

Nel 1945 esplodeva il primo ordigno atomico. Da allora il mondo deve affrontare i rischi di una proliferazione nucleare militare che può sfruttare la diffusione a scopo civile delle tecnologie legate all'atomo

di Flavio Parozzi e Franco Polidoro

Nell'estate del 1945 il secondo conflitto mondiale era già terminato in Europa, ma la guerra continuava ancora con il Giappone. In una zona desertica degli Stati Uniti, nel New Mexico, ci si apprestava a collaudare l'arma atomica che si era temuto che la Germania potesse realizzare per prima. Al test era stato dato il nome di «Trinity». Il 7 maggio 1945 era stata fatta una prova generale. Per mettere a punto procedure e strumentazione per l'esplosione di Trinity erano state fatte brillare circa 100 tonnellate di tritolo imbottite di materiale radioattivo in un punto non troppo distante dalla torre in cui sarebbe stata fatta esplodere la prima bomba nucleare.

IN BREVE

Il numero di reattori nucleari impiegati per la generazione elettrica si aggira sulle 440 unità, e sono in costruzione altre 68 unità di grande potenza.

Anche se il boom della fonte nucleare ipotizzato qualche decennio fa è stato disatteso, diffusione e crescita delle tecnologie legate all'atomo sono in continuo fermento a livello mondiale. È innegabile che per motivi legati alla sicurezza degli impianti e per gli aspetti militari e i rischi di terrorismo, questo settore richiede molta prudenza e attenzione.

Il rischio di proliferazione associato alla disponibilità di materiale fissile può essere contrastato grazie alle azioni di monitoraggio da parte dell'Agenzia internazionale per l'energia atomica e anche con la realizzazione di nuovi tipi di combustibile.

Flavio Parozzi è ingegnere nucleare, lavora da oltre trent'anni a programmi di ricerca nazionali, europei e statunitensi sulla sicurezza degli impianti nucleari.

Franco Polidoro è ingegnere nucleare, ricercatore impegnato da molti anni in programmi di ricerca internazionali nel campo della fisica dei reattori nucleari.

Entrambi gli autori svolgono indagini documentaristiche e studi attraverso l'associazione CISE2007 di Milano, che riunisce ricercatori e tecnici con lo scopo di promuovere la cultura scientifica e la sostenibilità in ambito energetico e ambientale.

Il successivo 16 luglio, esattamente settant'anni fa, il plutonio di Trinity liberò una potenza 200 volte maggiore. Erano passati solo due anni e mezzo da quando il gruppo del fisico italiano Enrico Fermi aveva realizzato a Chicago la prima reazione nucleare a catena controllata. Lo sforzo scientifico e tecnologico compiuto dagli statunitensi non aveva precedenti. L'impiego della bomba atomica sui civili delle città giapponesi di Hiroshima e di Nagasaki (*si veda il box a pp. 38-39*) fu il diabolico prezzo pagato per porre fine alla seconda guerra mondiale. Ma fu anche il marchio d'infamia con cui l'energia nucleare entrò nella storia.

Dopo la seconda guerra mondiale

Negli anni successivi, gli interessi nei confronti dell'energia ricavabile dall'atomo si articolarono in tutte le nazioni che disponevano di specialisti in grado di attuare trasferimenti dalla teoria alle applicazioni tecnologiche. Da subito, l'interesse non fu limitato agli impieghi militari, perché da un chilogrammo di uranio naturale, un metallo fino ad allora considerato di scarso valore, si aprì la possibilità di ottenere la stessa energia di una decina di tonnellate di carbone o di petrolio. La strada degli usi pacifici, come la generazione di energia elettrica, procedette quindi parallela alla costruzione di ordigni bellici sempre più potenti.

L'Unione Sovietica era uscita dalla seconda guerra mondiale vincitrice e alleata degli Stati Uniti, ma la contrapposizione politica e ideologica aveva portato le due superpotenze a un antagonismo militare che fu alla base della «guerra fredda». In questo contesto di iniziale monopolio atomico statunitense, nel 1946 gli Stati Uniti proposero alla neonata organizzazione delle Nazioni Unite un piano di cooperazione internazionale messo a punto dal consigliere di Stato Bernard Baruch per impedire una corsa agli armamenti nucleari. Il piano di disarmo, dettato in una situazione di squilibrio, fu rifiutato dall'Unione Sovietica, che accorciò le distanze nel 1949 con il suo primo test di un ordigno nucleare a fissione e nel 1953 con quello di una bomba all'idrogeno.

Nel 1955, dopo la morte del premier sovietico Stalin e la fine della guerra di Corea, il presidente statunitense Dwight Eisenhower diede segnali di disgelo rispetto alle precedente presidenza di Harry Truman, e ritentò il dialogo con i sovietici sul terreno della cooperazione internazionale. In piena sintonia con quella linea politica, sempre nel 1955 fu promossa a Ginevra la prima conferenza delle Nazioni Unite sugli usi pacifici dell'energia atomica. Intitolata «Atomi per la pace», la conferenza promosse in particolare la nascita dell'Agenzia internazionale per l'energia atomica (International Atomic Energy Agency, o IAEA), istituita nel 1957. Ancora oggi questa agenzia ha l'incarico di favorire gli impieghi pacifici dell'energia atomica e di verificare che materiali e tecnologie nucleari non siano impiegati per scopi bellici.

Un freno per la corsa atomica

La corsa agli armamenti nucleari da parte di altri paesi, benché formalmente osteggiata dalle due superpotenze, si scatenò in tempi brevi. Già dal 1952 il Regno Unito aveva dato il via ai suoi test atomici in Australia. Erano poi seguiti quelli della Francia nel Sahara algerino nel 1960 e quelli della Cina nel 1964.

Per dare un'idea della corsa agli armamenti atomici, basti pensare che negli anni tra il 1945 e il 1998 furono sperimentate più di 2000 testate nucleari, sia a fissione sia a fusione, e sempre più potenti, fatte detonare in aria, sottoterra, sul fondo dei mari e fuori dall'atmosfera per studiarne gli effetti sugli scenari di guerra. Nel 1962 fu addirittura raggiunta la media di una detonazione ogni 2-3 giorni, per lo più con bombe statunitensi e sovietiche, tanto che i continui *fallout* portarono i livelli di radioattività dell'aria e dell'acqua piovana a livelli allarmanti anche nelle località situate a notevole distanza dai siti in cui venivano effettuati i test.

Nel 1968 Stati Uniti, Unione Sovietica e Regno Unito, già in possesso di armi nucleari, e numerosi altri paesi come l'Italia che invece non ne avevano, spinsero per un accordo internazionale con cui bloccare la proliferazione di bombe atomiche. Noto come Trattato di non proliferazione, l'accordo entrò in vigore nel 1970. Oggi vi aderiscono 189 paesi, e si basa su tre punti: il divieto agli Stati «non nucleari» di procurarsi armamenti atomici e agli Stati «nucleari» di fornire loro tecnologie per impieghi militari; il diritto dei firmatari del trattato di sfruttare l'energia nucleare per impieghi di pace, come usi in campo medico e generazione elettrica; l'impegno di ogni membro a perseguire negoziati per mettere fine alla corsa agli armamenti nucleari e per il disarmo nucleare.

I firmatari del trattato riconoscevano in sostanza una supremazia di fatto da parte delle grandi potenze uscite vincitrici dal secondo conflitto mondiale, che nel giro di un ventennio avevano bruciato le tappe per la corsa alla bomba: Stati Uniti, Unione Sovietica (ora Federazione Russa), Regno Unito, Francia e Cina.

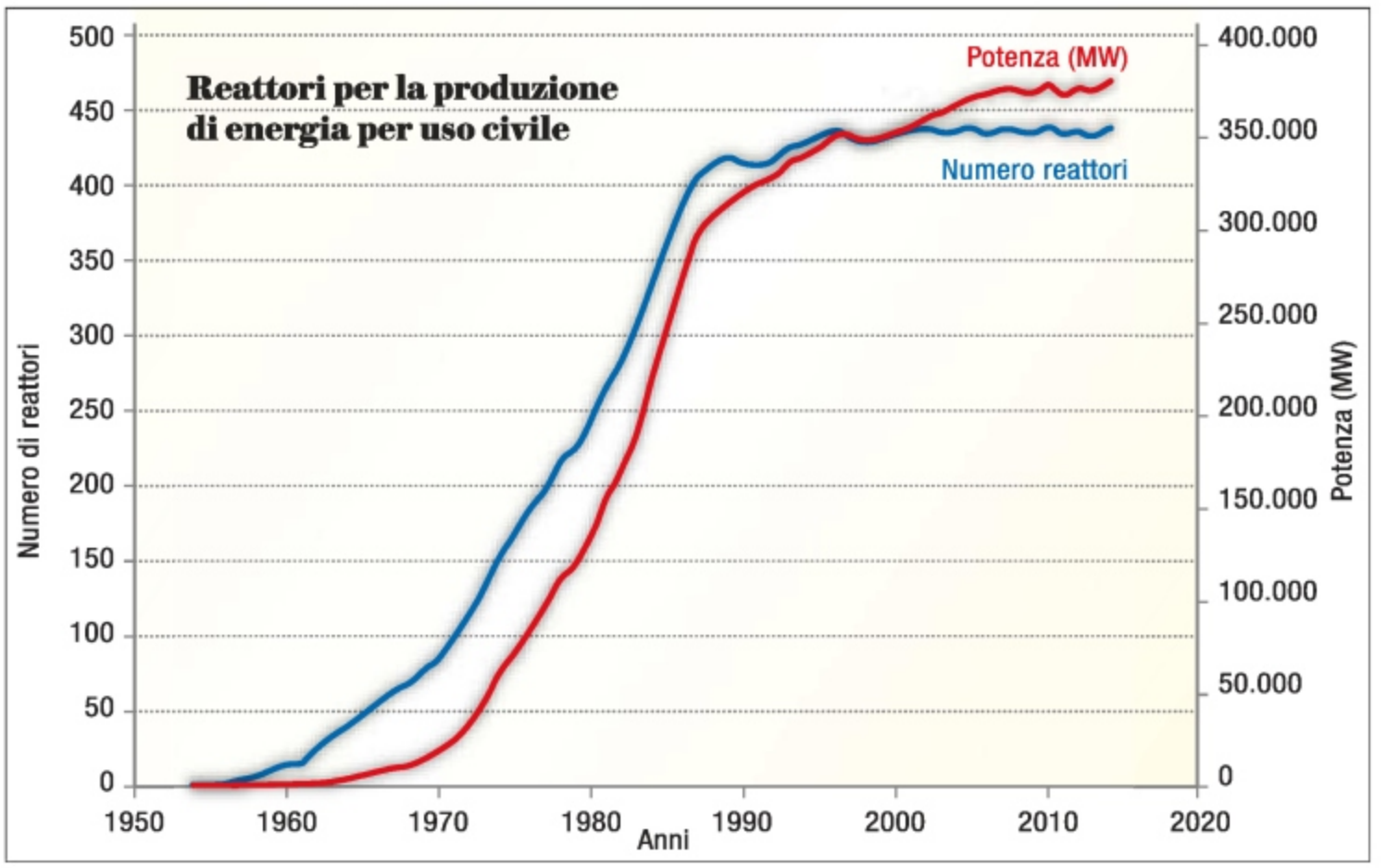
Anche se oggi Israele, India, Pakistan e Corea del Nord possono contare sulla tecnologia nucleare militare pur non aderendo al trattato, tra i successi della politica di contrasto alla proliferazione vanno menzionate la restituzione delle testate ricevute dall'ex Unione Sovietica da parte di Ucraina, Kazakhstan e Bielorussia e la rinuncia ai programmi di sviluppo di armi nucleari di Brasile, Argentina e Sudafrica. Nonostante il dato non appaia di per sé tranquillizzante, l'arsenale atomico mondiale, che aveva raggiunto un massimo di circa 70.000 ordigni nel 1986, ha cominciato a scendere, fino all'attuale quota di circa 15.700 testate.

I materiali per la bomba

I materiali che possono essere impiegati per la realizzazione di ordigni nucleari sono uranio e plutonio, in particolare i loro isotopi (atomi di uno stesso elemento chimico ma con masse diverse, tra loro identificati con i loro numeri di massa) uranio-235 e plutonio-239, detti anche fissili e quindi in grado di sostenere una

Danilo Sossi (*grafico*), fonte: Agenzia Internazionale per l'energia atomica; cortesia archivio Storico CISE2007 (*foto*)

Profilo storico.
Numero di reattori nucleari dedicati alla generazione di energia elettrica nel mondo dagli anni cinquanta a oggi e loro potenza complessiva.



Atomi per la pace.
La prima conferenza internazionale sugli usi pacifici del nucleare fu organizzata dalle Nazioni Unite a Ginevra nell'agosto 1955. Vi parteciparono 1400 delegati di 73 paesi, fra i quali molti scienziati, e 3000 osservatori del mondo industriale.

reazione nucleare a catena. I quantitativi necessari alla realizzazione di una bomba variano da qualche decina di chilogrammi per gli ordigni più rudimentali, come quelli impiegati nel secondo conflitto mondiale, a pochi chilogrammi per gli ordigni a fissione più sofisticati di ultima generazione.

Nell'ambito del rischio di proliferazione, la IAEA definisce «significativa» la quantità di materiale fissile con cui la realizzazione di ordigni nucleari non può essere esclusa. Per questi materiali la IAEA richiede quindi l'adozione di adeguate misure di salvaguardia e protezione: nel caso del plutonio questa quantità è pari a 8 chilogrammi, mentre per l'uranio altamente arricchito nell'isotopo 235, ovvero con una concentrazione di uranio-235 superiore al 20 per cento, è di 25 chilogrammi.

Mentre l'isotopo fissile uranio-235 si trova nell'uranio naturale con una concentrazione di appena lo 0,7 per cento, il plutonio-239 è prodotto nei reattori nucleari partendo dall'isotopo 238 dell'uranio che, catturando un neutrone, dopo successive reazioni, si trasforma appunto in plutonio-239. In generale, più tempo l'isotopo uranio-238 rimane nel reattore, maggiore è il quantitativo di plutonio-239 prodotto.

Durante questo processo di conversione però nel reattore sono prodotti anche altri isotopi del plutonio. Quindi per ottenere plutonio utile all'impiego militare la concentrazione dell'isotopo fissile plutonio-239 deve essere la più elevata possibile, di norma superiore al 93 per cento, limitando al massimo la presenza degli altri isotopi poco fissili o altamente radioattivi, che creerebbero grossi problemi nella fabbricazione di un ordigno esplosivo e nella sua detonazione. Per questo si parla di plutonio *weapon-grade* (di qualità militare) quando le concentrazioni degli isotopi poco fissili sono inferiori allo 0,02 per cento per il plutonio-238, inferiori al 6 per cento per il plutonio-240, inferiori allo 0,2 per cento per il plutonio-242. Per ottenere plutonio con le caratteristiche sopra indicate si può per esempio rimuovere il combustibile dopo una breve permanenza nel reattore, dell'ordine delle decine di giorni, cioè quando il plutonio-239 si è formato in quantità sufficiente e la presenza degli altri isotopi è ancora molto bassa.

Un rischio di proliferazione da non trascurare è infatti rappresentato da particolari tipologie di reattori di uso civile, la cui ar-

Come funzionano le bombe a fissione

Gli unici ordigni costruiti e impiegati in periodo di guerra furono quelli sganciati sul Giappone nel 1945, basati su tecnologie e materiali diversi. La bomba sganciata su Hiroshima il 6 agosto 1945 usava come esplosivo nucleare uranio-235. La tecnologia era semplice, e otteneva la reazione a catena facendo collidere due masse di uranio altamente arricchito (una era il bersaglio, l'altra il proiettile) in un tubo ricavato da un pezzo d'artiglieria (*sotto è illustrato lo schema di principio*). Data la massa considerevole di uranio impiegata, circa 60 chilogrammi, e la bassa efficienza del processo, questa soluzione, chiamata «tecnica del cannone», non ebbe applicazione negli anni successivi. L'ordigno lanciato il 9 agosto 1945 su Nagasaki usava invece la tecnica dell'implosione (*a fronte*). In questo caso la reazione a catena era ottenuta facendo implodere simmetricamente, tramite esplosivo chimico, una sfera di 6 chilogrammi di plutonio-239, che così raggiungeva valori di densità diverse volte superiori a quelli ordinari. L'innesco della reazione a catena su un materiale fissile denso massimizzava gli effetti della detonazione e riduceva la quantità di materiale fissile da impiegare. Questa tecnica fu sviluppata per poter sfruttare il plutonio, che non trovava applicazione nella tecnica del cannone. Oggi i più moderni ordigni a fissione usano una quantità modesta di plutonio con la tecnica *boosted*: l'alta temperatura sviluppata dalla fissione innesca la fusione deuterio-trizio e potenzia la resa energetica della bomba, grazie al surplus di neutroni prodotti dalla reazione di fusione.

Innesco
Un altimetro determina la quota a cui far detonare l'ordigno. Una carica esplosiva spara il proiettile di uranio-235 verso il bersaglio, anch'esso di uranio-235

Reazione
Il proiettile viaggia attraverso il tubo e colpisce il bersaglio di uranio-235, raggiungendo la cosiddetta «massa critica» e innescando la reazione nucleare a catena

Bersaglio
È costituito da uranio-235 e da una sorgente di neutroni atta a garantire l'innesco della reazione a catena

La bomba di Hiroshima
Esplosa il 6 agosto 1945 a una quota di 600 metri sopra il centro della città, uccise immediatamente tra le 70.000 e le 80.000 persone. Ulteriori decessi seguirono a migliaia negli anni successivi.

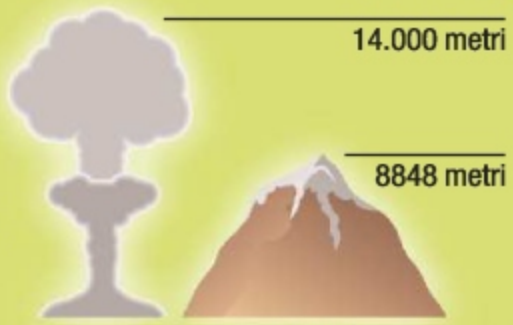
Nome	-	Little Boy
Tipo	-	Fissione
Energia rilasciata	-	13 chilotoni*
Peso	-	4,0 tonnellate

** 1 chilotone (1 kT) equivale a 1000 tonnellate equivalenti di TNT*

©Sol 90 Images; fonte dati per bombe di Hiroshima e Nagasaki: F. Parozzi e F. Polidoro

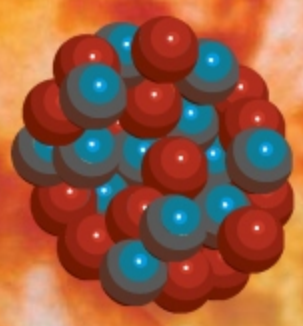
Il fungo atomico

È provocato dal risucchio d'aria ad altissima temperatura e dal materiale rovente che è stato polverizzato dall'esplosione.



Esplosivo nucleare
Sfera di plutonio-239 e sorgente di neutroni

Esplosivo convenzionale
Comprime il plutonio mediante implosione al fine di raggiungere una densità tale da innescare la reazione a catena (massa critica)



Reazione a catena
Un neutrone colpisce il nucleo di un atomo di uranio-235 (o plutonio-239)

Il nucleo si spacca in due, liberando neutroni e un'enorme quantità di energia

I neutroni liberati colpiscono altri nuclei di uranio-235 (oppure di plutonio-239), che quindi si dividono e liberano ancora più neutroni ed energia

La reazione a catena è sostenuta in questo modo fino a quando il nucleo della bomba è confinato nel suo involucro

Esplosione
La reazione a catena avviene in una frazione di secondo, liberando enormi quantità di energia sotto forma di radiazioni letali, calore e onde di pressione

La bomba di Nagasaki

Esplosa il 9 agosto 1945 a una quota di circa 500 metri. Circa 45.000 persone vennero uccise all'istante, mentre molte altre migliaia morirono nei mesi e negli anni successivi. Fat Man causò meno vittime di Little Boy, sebbene fosse più potente, perché Nagaski era costruita su un terreno collinare.

Nome	- Fat Man
Tipo	- Fissione
Energia rilasciata	- 20 chilotoni
Peso	- 4,9 tonnellate

Claus Lunau/SPL/Contrasto (*bomba*)

chitettura permette un ricambio del combustibile a reattore in funzione, e dunque permette anche di generare plutonio weapon-grade, come nel caso degli impianti di tipo canadese CANDU o di quelli sovietici RMBK. Questi ultimi erano dedicati anche alla produzione di plutonio militare al tempo dell'Unione Sovietica.

È da sottolineare il fatto che nei reattori nucleari impiegati per la produzione di energia elettrica il combustibile rimane nel reattore per mesi, determinando l'accumulo degli altri isotopi «disturbatori» del plutonio, oltre che del plutonio-239 fissile che in parte è bruciato dallo stesso reattore. Questo permette di estrarre plutonio la cui la percentuale di isotopo 239 non supera il 30-50 per cento (detto plutonio *reactor-grade*) quando il combustibile esausto è rimosso dal reattore e mandato agli impianti di riprocessamento. Questo plutonio ottenuto dal combustibile esausto non trova applicazione in ambito militare, anche se alcuni esperti non escludono a priori che organizzazioni terroristiche desiderose di munirsi di un qualche ordigno nucleare, sebbene di bassa efficienza, possano cercare di acquisire plutonio di tipo reactor-grade eludendo i controlli internazionali.

Ovviamente anche l'uranio-235 trova applicazioni in ambito militare. Tuttavia, per realizzare un ordigno nucleare la concentrazione di questo isotopo nell'uranio totale deve raggiungere circa il 90 per cento: in questo caso si parla di uranio *weapon-grade*. In natura questo isotopo è presente solo allo 0,7 per cento, quindi l'uranio naturale è arricchito in isotopo 235 in impianti complessi che consentono di separarlo dal resto dell'uranio, come era stato fatto per realizzare la bomba sganciata su Hiroshima.

Ci sono poi altri isotopi che vanno tenuti d'occhio. Finora non ci sono prove del fatto sia stato usato uranio-233 come materiale fissile per produrre ordigni nucleari. Ma in teoria questo isotopo potrebbe essere impiegato a fini bellici, ricavandolo mediante conversione di un isotopo di un altro elemento: il torio-232.

E ancora: anche se non è soggetto ad alcuna prescrizione da parte della IAEA, il trizio, isotopo radioattivo dell'idrogeno dotato di due neutroni e un protone, può essere usato in piccole quantità (pochi grammi) per potenziare un ordigno a fissione sfruttando la reazione di fusione nucleare fra trizio e deuterio, altro isotopo dell'idrogeno costituito da un neutrone e un protone. L'attenzione sul trizio deriva dal fatto che questo isotopo potrebbe essere impiegato nella realizzazione di un ordigno nucleare basato sull'uso di plutonio di tipo *reactor-grade*.

Strade rischiose

I rischi legati all'acquisizione di materiale fissile sono strettamente legati alle specificità del ciclo del combustibile, cioè a quelle operazioni che precedono la realizzazione del combustibile nucleare oppure al suo eventuale trattamento una volta rimosso dal reattore. Quando il combustibile è esausto, può seguire due strade. Nella prima è stoccato in depositi geologici senza alcun trattamento, e in questo caso si parla di ciclo del combustibile aperto, strada seguita per esempio dagli Stati Uniti.

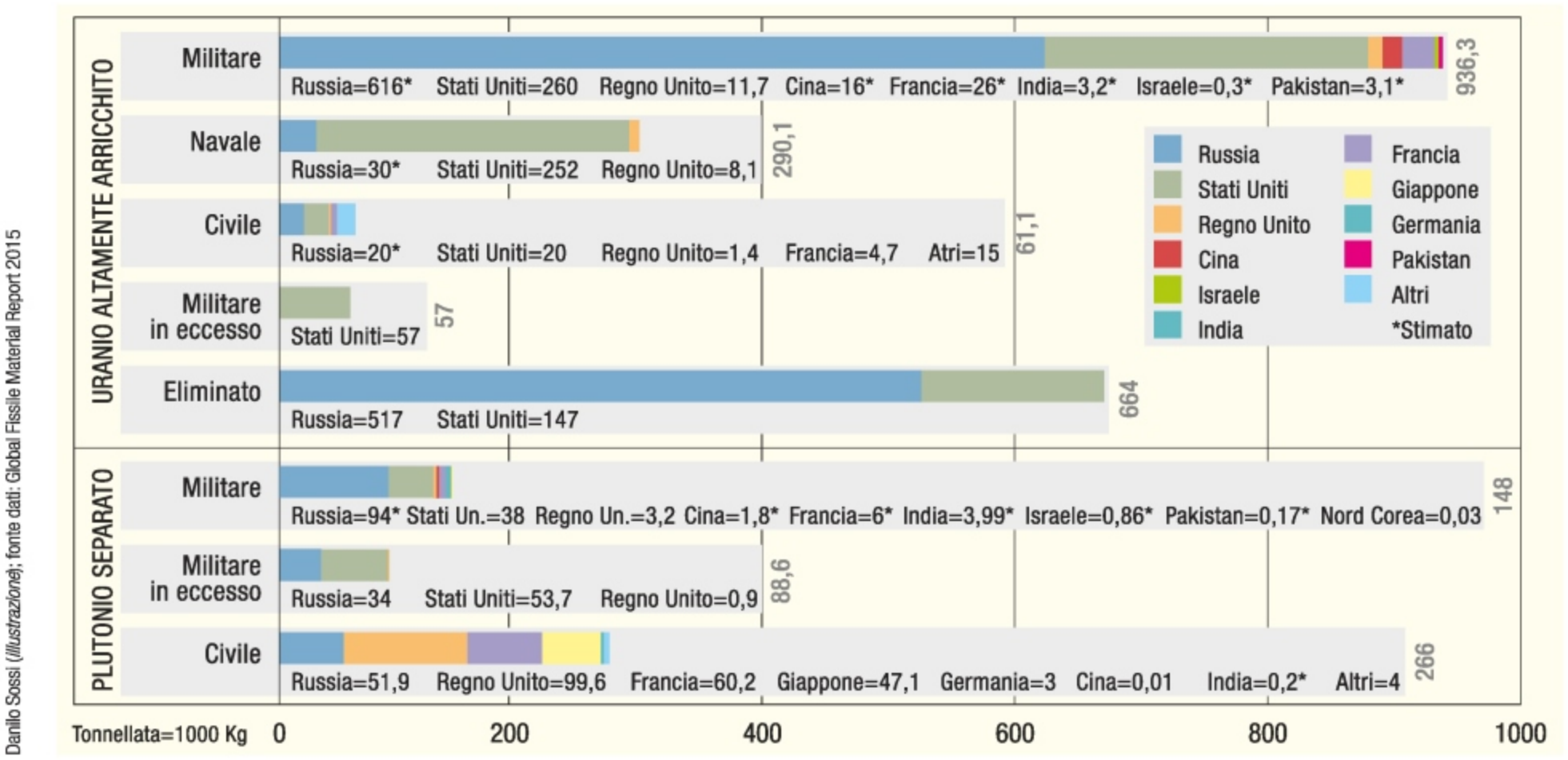
Nella seconda il combustibile è riprocessato, e si parla di ciclo del combustibile chiuso. Questa strada è seguita in molti paesi, per esempio Francia e Giappone, dove il materiale fissile ancora presente nel combustibile esausto (uranio-235 non bruciato ma anche plutonio) è separato dalle scorie per poter essere nuovamente impiegato. In particolare, il plutonio reactor-grade recuperato nel riprocessamento del combustibile esausto è sfruttato nei reattori commerciali sotto forma di nuovo combustibile denominato MOX ossia a ossidi misti di uranio e plutonio.

TRA URANIO E PLUTONIO

Gli arsenali nucleari mondiali

Secondo stime recenti il quantitativo di uranio altamente arricchito stoccato in diversi paesi del mondo è di circa 1340 tonnellate, con una grossa incertezza sul quantitativo della Russia. Questo materiale è in prevalenza impiegato per la realizzazione di testate nucleari, ma è anche usato per la propulsione navale o semplicemente dichiarato in eccesso per l'impiego militare. La Russia ha a disposizione il quantitativo maggiore, con circa 666 tonnellate; seguono gli Stati Uniti con 589 tonnellate. Da rilevare che negli scorsi anni circa 660 tonnellate di uranio adatte a scopi militari sono state eliminate convertendole in uranio a basso arricchimento.

Il quantitativo di plutonio stimato è di circa 460 tonnellate, di cui la metà di tipo weapon-grade prodotto proprio nell'ambito di programmi militari. L'altra metà del plutonio proviene dal riprocessamento del combustibile esaurito impiegato nei reattori nucleari. Stimando in 60 chilogrammi e 6 chilogrammi rispettivamente le quantità di uranio e plutonio weapon-grade necessari alla realizzazione di un ordigno nucleare della prima generazione, il materiale fissile stoccato nel mondo potrebbe essere impiegato per realizzare circa 100.000 nuove testate nucleari.



Danilo Sossi (*Illustrazione*); fonte dati: Global Fissile Material Report 2015

Japaridze Mikhail/ITAR-TASS Photo/Corbis

Sebbene questo plutonio non risulti attraente per il campo militare, il suo impiego nella realizzazione di un ordigno nucleare non può essere escluso a priori, quindi devono essere previste specifiche misure di salvaguardia e protezione contro possibili sottrazioni illecite di questo materiale.

I principali rischi di proliferazione collegati con il ciclo aperto sono invece limitati al processo di arricchimento dell'uranio, che richiede tecnologie molto complesse e costose, come quella della centrifugazione gassosa, in cui l'uranio, sotto forma di esafloruro di uranio, che è un gas, è arricchito in uranio-235 fino alle concentrazioni usate nei reattori nucleari commerciali: fra il 3 e il 5 per cento. È evidente che un qualsiasi paese dotato della capacità di arricchire uranio a fini pacifici può essere tentato di sfuggire ai controlli internazionali per procedere all'arricchimento spinto dell'uranio a scopi militari. Da qui si comprende l'importanza dell'azione di monitoraggio e controllo svolta dalla IAEA per impedire un uso improprio di questa tecnologia. Lo stoccaggio del combustibile nei depositi geologici, invece, non costituisce di fatto un rischio per la proliferazione, dato che gli elevati livelli di radioattività nel combustibile esausto scoraggiano l'accesso ai residui di materiale fissile ancora presenti.

Va infine rilevato che il rischio di acquisizione di materiale fissile può interessare anche piccole installazioni impiegate in ambito ricerca e per applicazioni commerciali. Alla fine del 2013 l'International Panel of Fissile Materials stimava in più di 100 i reattori di ricerca nel mondo che utilizzano uranio altamente arricchito, di cui molti in paesi dell'ex area sovietica. Anche l'atteso sviluppo di nuove centrali nucleari basate su decine di piccoli reattori che operano in batteria richiede lo stesso tipo di attenzione.

Per ridurre i rischi di acquisizione illecita di uranio di qualità

Ultimo arrivato. Un lanciatore per missile balistico Topol-M, adatto a ospitare testate nucleari, durante la parata a Mosca nel 2014, che ha commemorato la vittoria sovietica sulla Germania nazista.

militare, negli ultimi decenni sono state lanciate diverse iniziative internazionali. Tra queste va ricordata la Global Threat Reduction Initiative inaugurata dagli Stati Uniti nel 2004 per convertire questi impianti di ricerca all'uso di uranio debolmente arricchito, rimuovere o facilitare lo stoccaggio di materiale nucleare ad alto rischio, incluso il materiale radiologico che potrebbe essere usato per realizzare una bomba nucleare «sporca», in cui il materiale radioattivo è associato a esplosivo convenzionale, senza però l'innesco di una reazione di fissione.

Tecnologia a due facce

Il 2 dicembre 1942 Enrico Fermi era riuscito a far funzionare il primo reattore nucleare al mondo, la storica pila atomica chiamata Chicago Pile-1. Dopo appena due anni e mezzo era avvenuta la prima esplosione nucleare. 13. Era tempo di guerra, e gli anni che seguirono la fine del secondo conflitto mondiale portarono al clima della guerra fredda tra Stati Uniti e Unione Sovietica. Questa situazione spinse allo studio di ordigni sempre più distruttivi, e parallelamente incoraggiò la costruzione di reattori nucleari da cui ricavare grandi quantità di energia con lunga autonomia.

Gli impieghi per la propulsione navale e per la generazione di energia elettrica marciarono più o meno di pari passo. Nel 1955 entrò infatti in servizio il primo sottomarino statunitense a propulsione nucleare, battezzato con lo stesso emblematico nome, *Nautilus*, di quello immaginato da Jules Verne alla fine dell'Ottocento nel suo *Ventimila leghe sotto i mari*.

Il primo collegamento di un impianto nucleare a una rete elettrica era invece avvenuto l'anno precedente con il piccolo impianto russo da 5 megawatt di Obninsk. Mentre l'esordio del nucleare per uso civile con impianti di alta potenza, almeno per l'epoca, avvenne nel 1956 nel Regno Unito con l'entrata in esercizio della prima delle quattro unità da 60 megawatt di Calder Hall e, nel 1957, con la centrale statunitense di Shippingport, anch'essa da 60 megawatt.

A sessant'anni di distanza, tra periodi di entusiasmo per la nuova fonte energetica e anni di ripensamenti collegati a incidenti come quelli di Chernobyl del 1986 e di Fukushima del 2011, la tecnologia della generazione di elettricità da fissione nucleare è maturata. Tuttavia, se l'uso di tecnologie nucleari per uso pacifico può avvenire con accordi commerciali nel rispetto dei trattati internazionali, la realizzazione di armamenti nucleari richiede ai paesi interessati di dotarsi in modo autonomo di capacità tecnico-scientifiche assai ampie. Per esempio sono necessarie competenze nella metallurgia di uranio e plutonio, è necessaria la disponibilità di apparecchiature di precisione per la manifattura degli ordigni, di laboratori per sperimentazioni, conoscenze nell'impiego di esplosivi, detonatori, sorgenti di neutroni e, non da ultimi, sofisticati algoritmi di calcolo.

Ma è anche vero che le conoscenze in ambito nucleare, come le tecnologie per l'acquisizione e il trattamento del materiale fissile, sono diventate sempre più accessibili a molte nazioni. I test nucleari effettuati in India, Pakistan e Corea del Nord, come i programmi nucleari militari portati avanti segretamente da Sudafrica e Israele, dimostrano che la realizzazione di ordigni con caratteristiche simili o anche superiori alle bombe esplose sul Giappone nel 1945 è potenzialmente nella disponibilità di paesi che abbiano a disposizione materiale fissile. Questi fatti non sono la diretta conseguenza dello sviluppo e della diffusione della tecnologia nucleare per impiego pacifico, quella legata ai reattori nucleari per la produzione di energia elettrica. Tuttavia hanno destato allarme nella comunità internazionale e hanno rafforzato la preoccupazione che il regime antiproliferazione, sostenuto per molti anni dai paesi detentori dell'arma atomica, presenti sempre più punti di debolezza.

I COMPITI DELLA IAEA

L'agenzia internazionale anti-proliferazione

In accordo con il trattato di non proliferazione, tutti i paesi non dotati di armi nucleari hanno l'obbligo di concludere accordi con l'Agenzia internazionale per l'energia atomica mirati a introdurre specifiche salvaguardie sul materiale nucleare in loro possesso. Attualmente l'attività di ispezione svolta dall'agenzia coinvolge più di 140 paesi. In particolare, l'agenzia ha la responsabilità di fornire alla comunità internazionale assicurazioni sull'impiego dell'energia nucleare per usi pacifici nei diversi paesi e di attivare, se necessario, risposte a livello internazionale nel caso in cui il rischio di un uso militare del materiale nucleare diventasse reale.

In quest'ottica l'agenzia ha il compito di verificare che tutto il materiale nucleare in possesso degli Stati sia dichiarato, valutando correttezza e completezza delle informazioni fornite dai singoli paesi. Questo compito include tra l'altro l'adozione di specifiche misure di monitoraggio degli impianti, con l'impiego di telecamere e l'applicazione di sigilli sulle strutture più critiche, per impedire che il materiale fissile, impiegato ufficialmente per applicazioni pacifiche, possa essere sottratto da governi oppure organizzazioni terroristiche intenzionate a sviluppare armi nucleari.

L'Iran, per esempio. Membri dell'Agenzia internazionale per l'energia atomica durante un'ispezione all'impianto per l'arricchimento dell'uranio di Natanz, in Iran.

Neutralizzare il lato oscuro

Oltre alle azioni di controllo e salvaguardia che possono essere adottate negli impianti sensibili, il rischio di proliferazione nucleare può essere affrontato anche agendo sulle proprietà del materiale fissile, sia esso di tipo weapon-grade, ottenuto dallo smantellamento delle testate dei missili, oppure adatto per reattori, proveniente dal riprocessamento del combustibile esausto delle centrali. Questi interventi mirano a conferire al combustibile proprietà fisiche che impediscano o scoraggino la realizzazione di esplosivi nucleari in caso di sottrazione illecita.

Nel caso dell'uranio è possibile diluire l'isotopo fissile uranio-235 con quello non fissile uranio-238, in modo da non renderlo utile per la realizzazione di bombe. Inoltre, la presenza nell'uranio di qualità militare di piccole percentuali di varie impurezze può creare ulteriori ostacoli di vario tipo, aumentando in alcuni casi la probabilità di predetonazione di un eventuale ordigno.

Nel caso del plutonio di qualità militare, la presenza in percentuali modeste di alcuni suoi isotopi, come plutonio-238 e plutonio-240, può costituire un grosso ostacolo alla realizzazione di un ordigno nucleare. Il calore di decadimento del plutonio-238 favorisce l'instabilità dell'esplosivo chimico impiegato come innesco nella tecnica dell'implosione, rendendo problematica la manifattura dell'ordigno. Nel caso del plutonio-240, la fissione spontanea di questo isotopo genera invece un flusso di neutroni che aumenta la probabilità di predetonazione.

Per ovviare al rischio che il plutonio recuperato dal combusti-

UPI Photo/eyevine/Contrasto

bile possa essere usato come esplosivo, anche se scadente, sono state identificate possibili soluzioni per quello che riguarda la sua composizione isotopica nel combustibile da impiegare nei reattori convenzionali. In particolare è stato dimostrato che l'aggiunta nel combustibile fresco di minime quantità di americio-241 o nettunio-237, o di entrambi, può renderlo di fatto resistente alla proliferazione, aumentando ben oltre il 6 per cento la frazione di plutonio-238. Tuttavia è anche stato rilevato che le proprietà non adatte alla proliferazione di questo tipo combustibile verrebbero assicurate per un limitato periodo di tempo, perché il plutonio-238 si tramuta per decadimento radioattivo in altri elementi entro alcuni decenni dalla sua produzione in reattore.

Occhio al combustibile

Nell'ottica di sostenere il disarmo nucleare, scoraggiare la proliferazione e promuovere lo sviluppo dell'energia nucleare per applicazioni solo pacifiche, capisaldi del Trattato di non proliferazione, nel 1993 è stato siglato dall'allora presidente russo Boris Eltsin e da quello statunitense Bill Clinton il progetto «Megatons to Megawatts», concepito per convertire 20.000 testate nucleari in combustibile da impiegare nelle centrali nucleari per la produzione di energia elettrica. Conclusosi nel 2014, questo piano ha permesso di convertire circa 500 tonnellate di uranio weapon-grade, presente nelle testate nucleari in dotazione alla Russia, in uranio a basso tenore dell'isotopo 235 per uso civile diluendolo in uranio naturale, vale a dire con il processo inverso a quello dell'arricchimento. Con questa iniziativa, negli ultimi 15 anni circa il 10 per cento dell'energia elettrica degli Stati Uniti è stato prodotto grazie al riutilizzo del materiale fissile di provenienza militare.

Da molti anni il plutonio che proviene dal riprocessamento del combustibile esausto delle centrali nucleari e dallo smaltimento delle testate nucleari trova impiego in nuovo combustibile MOX. Questo nuovo combustibile è attualmente impiegato in reattori nucleari di tipo tradizionale in Europa e Giappone. È stato inoltre ipotizzato un impiego significativo del MOX come combustibile per i reattori veloci di IV generazione, qualora questa filiera, al momento ancora in fase di sviluppo, trovasse una diffusione su scala industriale. Di recente interesse è poi la possibilità di impiegare il plutonio insieme al torio nei combustibili denominati Th-MOX. Oltre a non produrre nuovo plutonio-239, questi combustibili avrebbero la caratteristica di bruciare più efficacemente quello esistente e di offrire un minor rischio di proliferazione.

Nel campo dell'energia nucleare da fissione la messa a punto della tecnologia del combustibile è quindi un settore ancora aperto, sia per incrementare le necessarie cautele contro una nuova proliferazione, sia perché gli impianti concepiti per la generazione elettrica potrebbero avere un importante ruolo nella riduzione degli arsenali, come in parte sta già avvenendo. ■

PER APPROFONDIRE

Nuclear Power Reactors In the World. IAEA, edizione 2015, Vienna.

Global Fissile Material Report 2015. Conferenza sul trattato di non proliferazione, Nazioni Unite, New York, 8 maggio 2015. **http://fissilematerials.org/library/2015/05/presentation_of_the_ipfm_globa.html.**

Ripensare il riciclaggio del combustibile nucleare. Von Hippel F., in «Le Scienze» n. 479, luglio 2008.

La nuova generazione dei reattori nucleari. Hannum W.H., Marsh G.E. e Stanford G.S., in «Le Scienze» n. 452, aprile 2006.

L'invenzione della bomba atomica. Rhodes R., Rizzoli, Milano, 2005.

Il sito web dell'International Atomic Energy Agency: **www.iaea.org.**

Pagina web della Global Threat Reduction Initiative: **http://nnsa.energy.gov/mediaroom/factsheets/reducingthreats.**

Tre minuti a mezzanotte

Le lancette di un orologio immaginario gestito da scienziati indicano che l'umanità non è molto lontana da una catastrofe senza appello

di Giovanni Spataro

Quanto manca alla fine del mondo? La domanda non è esclusivo dominio dei seguaci di presunte profezie degli antichi Maya, o altri catastrofisti, caratterizzate da vacui elementi esoterici. Anche nel mondo della scienza c'è chi si occupa con ben altro spessore e autorevolezza dello stato di salute e delle prospettive future della civiltà umana, soprattutto alla luce del progresso tecnologico e dell'uso che se ne fa. Uno dei gruppi più prestigiosi in questo campo fa capo alla rivista «The Bulletin of Atomic Scientists», fondata nel 1945 da scienziati, ingegneri ed esperti di altri settori che avevano partecipato al Manhattan Project, nome in codice del progetto che durante la seconda guerra mondiale aveva portato gli Stati Uniti a ottenere per primi la bomba atomica.

Consapevoli degli effetti catastrofici legati all'uso di testate nucleari, come era stato evidente sempre nel 1945 con i bombardamenti statunitensi sulle città giapponesi di Hiroshima e Nagasaki, i fondatori di «The Bulletin of Atomic Scientists» avevano deciso di sensibilizzare opinione pubblica e decisori politici sui rischi associati all'uso improprio della nascente tecnologia atomica. E per farlo avevano scelto un orologio simbolico: il Doomsday Clock, l'orologio dell'Apocalisse, le cui lancette segnalano quanto manca alla mezzanotte, ovvero alla fine del mondo. Dal 1947 l'orologio dell'Apocalisse compare in bella vista su ogni copertina della rivista, ma non viene aggiornato con regolarità. Ogni anno un gruppo di esperti affiliati con il «Bulletin» e di consiglieri, tra i quali attualmente 17 premi Nobel, si riunisce e decide se è giunto il momento di spostare le lancette in avanti o indietro, oppure di lasciare le cose come stanno.

Nella lunga storia dell'orologio dell'Apocalisse l'ora è stata cambiata 22 volte, l'ultima lo scorso gennaio, quando è stato deciso di portare le lancette a tre minuti dalla mezzanotte. È quasi un record, visto che solo altre due volte eravamo stati così vicini allo scoccare dell'ora fatale: la prima nel 1949, quando l'Unione Sovietica aveva fatto detonare il suo primo ordigno atomico, segnando così l'inizio della corsa agli armamenti nucleari; la seconda, nel 1984, quando, come scriveva il «Bulletin», le relazioni tra Stati Uniti e Unione Sovietica avevano toccato uno dei punti più bassi di sempre e il dialogo tra le due superpotenze era di fatto bloccato. Solo nel 1953 siamo stati ancora più vicini alla fine. In quell'anno gli Stati Uniti avevano testato la loro prima bomba H, in cui la reazione di fissione nucleare innesca la fusione aumentando la potenza degli ordigni atomici. L'Unione Sovietica avrebbe pareggiato i conti qualche mese dopo il test statunitense. Nel frattempo mancavano due minuti a mezzanotte.

Il pericolo di un conflitto nucleare non è un ricordo dei tempi della guerra fredda. Tra le motivazioni che qualche mese fa hanno spinto il «The Bulletin of the Atomic Scientists» a muovere in avanti le lancette del Doomsday Clock c'è ancora il rischio di veder comparire il fungo atomico in qualche area del pianeta. Dai tempi della guerra fredda Stati Uniti e Russia hanno ridotto la consistenza dei rispettivi arsenali nucleari, ma ancora oggi i due paesi possono contare rispettivamente su 7300 e 8000 testate atomiche su un totale globale di 16.300. In altri termini, statunitensi e russi posseggono il 93 per cento delle bombe nucleari del pianeta. Il problema nel problema, affermano gli esperti del «Bulletin», è che non ci sono segnali di smantellamento di questa eredità del mondo diviso in due blocchi. Anzi, sono previsti ingenti finanziamenti per il loro ammodernamento. Nei prossimi dieci anni gli Stati Uniti potrebbero spendere 355 miliardi di dollari per tenere il proprio arsenale atomico al passo con i tempi, e lo stesso farà la Russia. Questa spirale di modernità sta trascinando anche le altre potenze nucleari – Regno Unito, Francia, Cina, India, Pakistan,

Cortesia The Bulletin of Atomic Scientists (*logo orologio*)

Siccità record. Un cartello in California avverte delle conseguenze dovute a una siccità senza precedenti accentuata dal cambiamento climatico. Gli agricoltori della zona non ricevono acqua. Se la vogliono, la devono pompare dai pozzi, e tanti terreni sono lasciati incolti.

Jenny E. Ross/Corbis

Israele e Corea del Nord – in alcuni casi più interessate a migliorare le proprie capacità di colpire obiettivi con bombe atomiche, magari nel contesto di un conflitto regionale che però avrebbe conseguenze ambientali catastrofiche per tutta la Terra.

Ma la proliferazione nucleare non è l'unica minaccia; anche il cambiamento climatico è ormai una spada di Damocle sul futuro dell'umanità. Non è la prima volta che l'aumento della temperatura globale e gli effetti a esso associati contribuiscono a spostare in avanti le lancette dell'orologio dell'Apocalisse. Il suo esordio tra gli incubi del pianeta risale al 2007. Tuttavia l'enfasi posta dall'aggiornamento dello scorso gennaio non ha precedenti.

La situazione è chiara, scrivono al «Bulletin». Secondo i dati della statunitense National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), il 2014 è stato l'anno più caldo dalla fine del XIX secolo, cioè da quando ebbe inizio il consumo intensivo di combustibili fossili. I dati della NOAA indicano che lo scorso anno la temperatura media globale misurata al suolo e sulla superficie degli oceani ha superato di 0,68 gradi la media del XX secolo. Lo stesso allarme era stato lanciato nel 2014 dal quinto rapporto sulla scienza del cambiamento climatico pubblicato dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). In occasione della pubblicazione del rapporto, l'IPCC aveva messo in guardia in particolare i decisori politici. Se non si interverrà in modo deciso sull'andamento delle emissioni di gas serra, prodotti dai combustibili fossili e responsabili della febbre del pianeta, entro la fine di questo secolo la temperatura media della Terra potrebbe aumentare tra 3 e 8 gradi rispetto all'era preindustriale, ben oltre quindi l'aumento di 2 gradi indicato come la linea rossa da non superare.

Uno scenario del genere, commentano al «Bulletin», avrebbe ripercussioni profonde anche sulla stabilità politica di numerosi paesi. Per esempio un recente studio pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» da Colin P. Kelley, dell'Università della California a Santa Barbara, ha collegato una siccità da record in Siria, causata dal riscaldamento globale, e i disordini sociali del 2011, diventati sempre più gravi fino a sfociare nella guerra civile che ancora oggi devasta il paese.

Ma, come per la questione nucleare, anche nel caso cambiamento climatico è la politica che deve darsi da fare per evitare scenari da fine del mondo. È possibile impedire un riscaldamento globale medio che superi i 2 gradi rispetto ai livelli preindustriali. Il mondo dispone di opzioni tecnologiche e politiche per centrare questo obiettivo, a costi accettabili. Tuttavia i ripetuti fallimenti dei vertici mondiali per un accordo globale vincolante che tenga sotto controllo le emissioni non lasciano ben sperare.

Nel frattempo la mezzanotte è sempre più vicina, e all'orizzonte emergono nuovi potenziali rischi. Lo sviluppo tecnologico propone soluzioni, ma allo stesso tempo mette di fronte a sfide cruciali. Le biotecnologie per esempio possono essere incanalate nell'alveo del bioterrorismo o delle armi biologiche, le tecnologie informatiche possono essere usate per colpire nel mondo virtuale organizzazioni reali, con l'obiettivo di destabilizzare. Anche in questi casi il pallino è in mano alla politica, sottolineano dal «Bulletin». Servono istituzioni che dovrebbero esplorare gli usi catastrofici delle nuove tecnologie e trovare soluzioni. ■

PER APPROFONDIRE

L'orologio dell'Apocalisse sul sito web di «The Bulletin of Atomic Scientists»:
http://thebulletin.org/multimedia/doomsday-clock.

FISICA DELLE PARTICELLE

La colla che ci tiene insieme

Da decenni i fisici sanno che le particelle chiamate gluoni mantengono integri protoni e neutroni, e quindi tengono insieme l'universo. Tuttavia i dettagli di come agiscono i gluoni sono ancora sorprendentemente misteriosi

di Rolf Ent, Thomas Ullrich e Raju Venugopalan

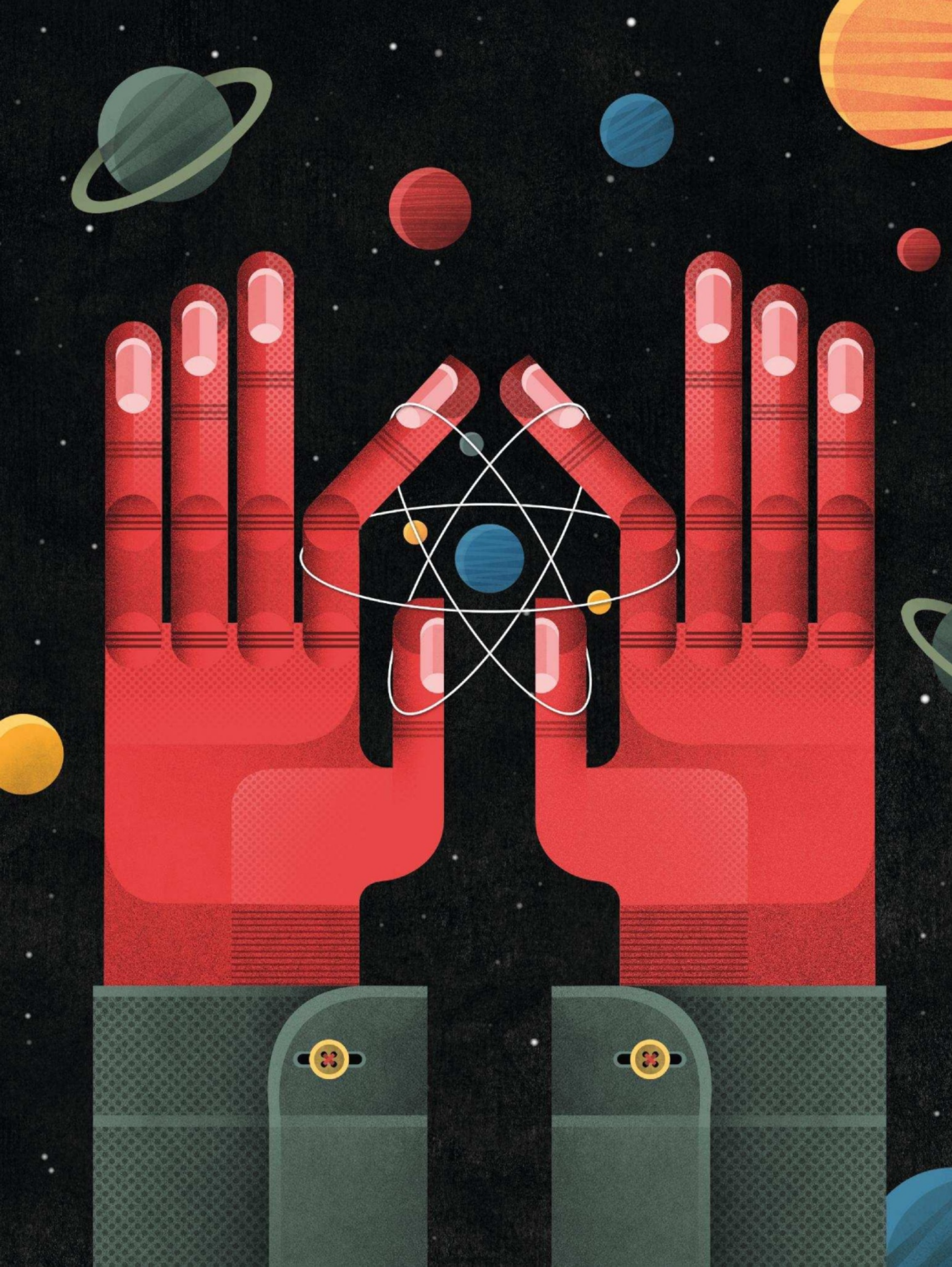
IN BREVE

A livello fondamentale, la materia che forma il nostro mondo è composta da particelle chiamate quark, che sono tenute insieme da particelle «collose» denominate gluoni, dal termine inglese *glue*, colla, proprio per questo motivo. I fisici hanno fatto enormi passi avanti nel capire il funzionamento di quark e gluoni, ma ci sono ancora molti problemi aperti.

Non è chiaro come quark e gluoni contribuiscano alla massa e allo spin di protoni e neutroni negli atomi, per esempio. Inoltre quark e gluoni sono dotati di una «carica di colore», definita dalla cromodinamica quantistica, mentre protoni e neutroni sono privi di colore.

Esperimenti futuri, che mostreranno con un dettaglio mai raggiunto prima i costituenti della materia, potranno aiutarci a capire meglio il modo in cui interagiscono quark e gluoni.

Illustrazione di Maria Corte



Rolf Ent lavora dal 1993 presso la Thomas Jefferson National Accelerator Facility a Newport News, dove è direttore associato per la fisica nucleare sperimentale e portavoce di molti esperimenti in cui si studia la struttura quark-gluoni di adroni e nuclei atomici.

Thomas Ullrich è arrivato al Brookhaven National Laboratory nel 2001 e svolge ricerca e attività didattica anche alla Yale University. Ha partecipato a numerosi esperimenti al CERN e a Brookhaven, per cercare e studiare il plasma di quark e gluoni. Si è interessato anche della realizzazione di un collisore elettroni-ioni.

Raju Venugopalan dirige il Nuclear Theory Group del Brookhaven National Laboratory, dove studia le interazioni di quark e gluoni ad alte energie.

Gli antichi greci pensavano che gli atomi fossero in assoluto le parti più piccole della materia. Poi, nel Novecento, gli scienziati hanno scisso l'atomo, arrivando a componenti ancora più piccoli: protoni, neutroni ed elettroni. I primi due, a loro volta, si sono rivelati composti da particelle ancor più minuscole dette quark e legate da particelle «appiccicose», dette gluoni dall'inglese *glue*, «colla». Adesso sappiamo che queste particelle sono veramente fondamentali, ma anche questa descrizione è incompleta.

Gli esperimenti per scrutare all'interno di protoni e neutroni rivelano una vera orchestra al loro interno. Ognuna di queste particelle è composta da tre quark e un numero variabile di gluoni, insieme ai cosiddetti quark del mare, le coppie composte da un quark e il suo compagno di antimateria, l'antiquark, che compaiono e scompaiono in continuazione. E i protoni e i neutroni non sono le uniche particelle al mondo fatte di quark. Gli esperimenti degli ultimi cinquant'anni con gli acceleratori hanno creato innumerevoli altre particelle contenenti quark e antiquark le quali, insieme a protoni e neutroni, sono dette adroni.

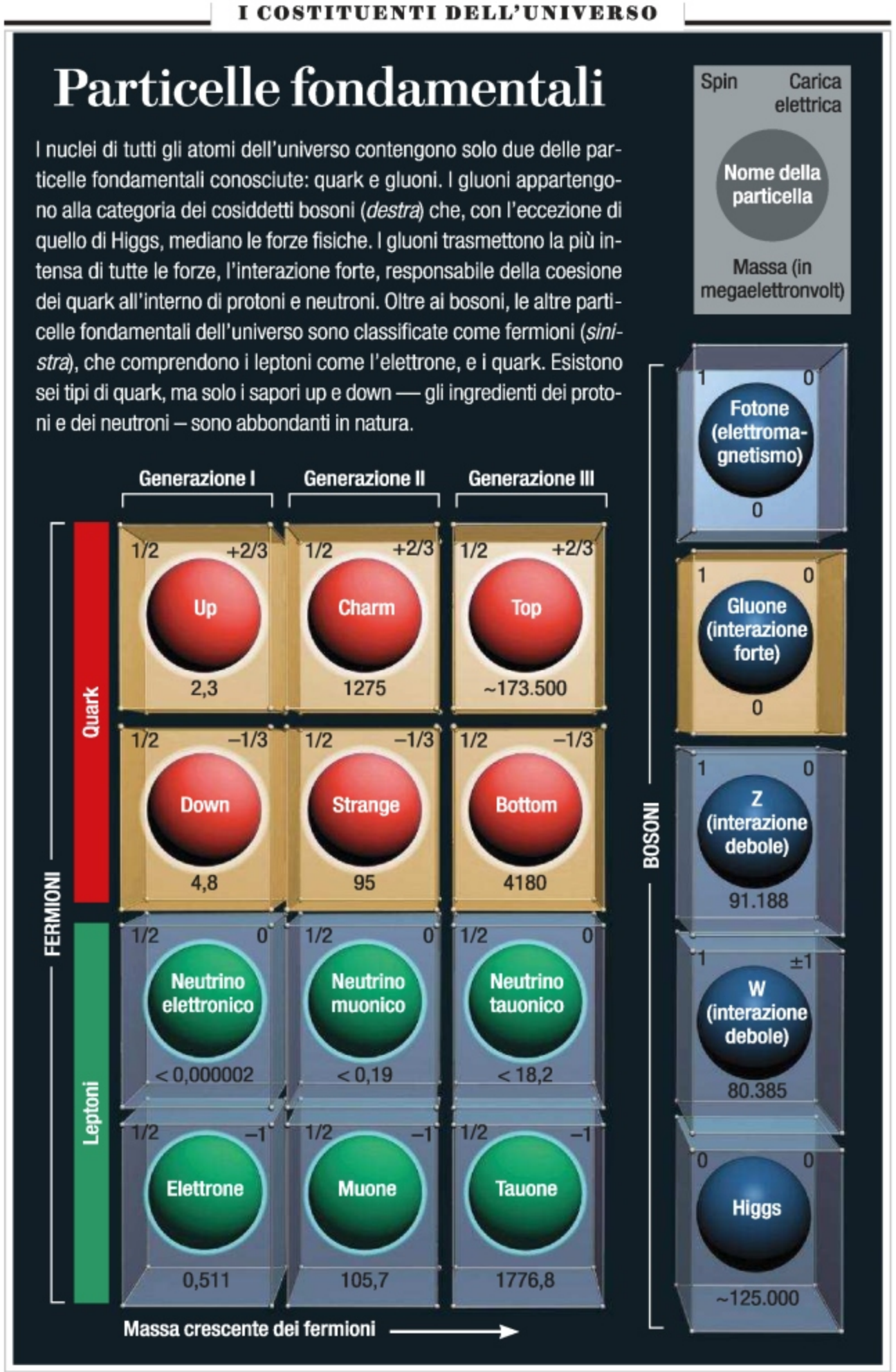
Nonostante tutto quello che ormai sappiamo, compreso il modo in cui interagiscono tra loro quark e gluoni, noi fisici ancora non sappiamo spiegare pienamente come facciano quark e gluoni a generare tutto lo spettro di proprietà e fenomeni mostrati da protoni, neutroni e dagli altri adroni. Per esempio, se sommiamo le masse dei quark e dei gluoni contenuti nei protoni non otteniamo nemmeno lontanamente la massa totale dei protoni: rimane da risolvere l'enigma della provenienza di tutta questa massa mancante. Inoltre siamo ancora in dubbio sul modo esatto in cui i gluoni legano i quark e su perché questo legame sembri basato su un tipo speciale di «carica di colore» all'interno dei quark. Non comprendiamo neppure come la rotazione di un protone, ovvero una grandezza misurabile detta spin, derivi dagli spin dei quark e dei gluoni che contiene: è un mistero, visto che gli spin delle particelle più piccole non si sommano in modo semplice a dare il totale.

Se riuscissimo a rispondere a queste domande, cominceremmo finalmente a capire come funziona la materia ai livelli più fondamentali. Identificare i principali enigmi su quark e gluoni, che ora descriveremo, è di per sé un passo essenziale verso la comprensione della fisica della materia più basilare. Gli studi attuali e futuri, compresi quelli centrati su configurazioni esotiche di quark e gluoni, dovrebbero contribuire a dissipare il mistero. Con un po' di fortuna presto emergeremo dalla nebbia.

Da dove viene la massa del protone?

Il mistero della massa è uno dei problemi più frustranti, e dà un'idea chiara dei motivi per cui il funzionamento di quark e gluoni sia così enigmatico. Ci è abbastanza chiaro da dove venga la massa di quark e leptoni (una categoria di particelle che comprende gli elettroni). Il meccanismo si fonda sul bosone di Higgs, la particella scoperta al Large Hadron Collider (LHC) del CERN, vicino a Ginevra, nel 2012, destando enorme interesse, e sul relativo campo di Higgs, che pervade tutto lo spazio. Quando una particella passa per questo campo, le sue interazioni con esso la dotano di massa. Si dice spesso che il meccanismo di Higgs spiega l'origine della massa nell'universo visibile. Questa affermazione, però, non è corretta: la massa dei quark costituisce appena il 2 per cento della massa del protone e di quella del neutrone. Noi riteniamo che il restante 98 per cento derivi in buona misura dall'azione dei gluoni. Ma come i gluoni contribuiscano a generare la massa di protoni e neutroni non è evidente, visto che di per sé sono privi di massa.

Un indizio per risolvere questo rompicapo è fornito dalla famosa equazione di Einstein che collega la massa a riposo di una particella con la sua energia. Scrivendola nella forma $m = E/c^2$, si può dire che la massa a riposo (m) del protone derivi dalla sua energia (E), espressa in unità corrispondenti alla velocità della luce al qua-



drato (c^2). Dato che l'energia di un protone è data principalmente dai gluoni, in teoria basterebbe determinare l'energia dei gluoni per calcolare la massa del protone.

Però calcolare l'energia dei gluoni è difficile, anche perché la loro energia complessiva deriva dal contributo di diversi fattori. L'energia di una particella libera (cioè priva di interazioni con altre) è la sua energia di moto. Quark e gluoni, però, non sono praticamente mai isolati. Sopravvivono come particelle libere solo su scale temporali impensabilmente piccole (meno di 3×10^{-24} secondi), prima di legarsi a formare altre particelle subatomiche e risultare letteralmente nascosti alla vista. Inoltre l'energia dei gluoni non viene solo dal movimento; è inseparabile dall'energia che spendono per legare se stessi e i quark in particelle più longeve. Risolvere il mistero della massa richiede quindi una comprensione migliore di come i gluoni «incollano». Tuttavia, anche in questo caso sono i gluoni a sbarrarci la strada verso la decifrazione dei loro misteri.

Come fanno i gluoni a legare?

Da un certo punto di vista, la risposta a come i gluoni incollino è semplice: mediano l'interazione forte. Ma questa forza è a sua volta enigmatica.

L'interazione forte è una delle quattro forze fondamentali della natura, insieme a gravità, elettromagnetismo e interazione debole (quest'ultima è responsabile del decadimento radioattivo). Di queste quattro, l'interazione forte è di gran lunga la più intensa, e di qui il nome. Oltre a legare i quark in modo che formino gli adroni, l'interazione forte è quella che unisce protoni e neutroni in modo da costituire i nuclei atomici superando l'enorme repulsione elettromagnetica presente tra i protoni tutti carichi positivamente del nucleo. Ognuna delle forze fondamentali della natura è collegata a una specifica particella, la cosiddetta «mediatrice» della forza. Come il fotone, l'unità fondamentale della luce, è la particella mediatrice dell'elettromagnetismo, allo stesso modo il gluone lo è dell'interazione forte.

E fin qui tutto bene. Ma a volte l'interazione forte agisce in modi sorprendenti. Secondo la meccanica quantistica, la distanza a cui può estendersi l'effetto di una forza è inversamente proporzionale alla massa della sua mediatrice. La forza elettromagnetica, per esempio, ha una portata infinita; un elettrone libero sulla Terra, in teoria, risente di una lievissima repulsione da parte di un elettrone dall'altra parte della Luna. I fotoni, che mediano la forza tra gli elettroni, sono quindi privi di massa. Invece la portata dell'interazione forte non si estende al di fuori dei nuclei degli atomi. Questo implicherebbe che i gluoni siano dotati di una massa elevata, invece sembrano privi di massa.

L'interazione forte è peculiare anche perché sembra attrarre i quark con tanta più intensità quanto più si allontanano. La forza elettromagnetica tra due magneti, al contrario, è più intensa quando sono vicini e più debole quando sono distanti. I fisici hanno osservato i quark per la prima volta negli anni sessanta, nel corso degli esperimenti allo Stanford Linear Accelerator Center (adesso SLAC National Accelerator Laboratory), che faceva collidere elettroni ad alta energia contro bersagli costituiti da protoni. Certe volte gli elettroni passavano attraverso, mentre altre volte colpivano qualcosa di solido e rimbalzavano. Velocità e direzione dei rimbalzi rivelarono presenza e disposizione dei quark all'interno dei protoni. Questi esperimenti di *scattering* (o diffusione) pro-

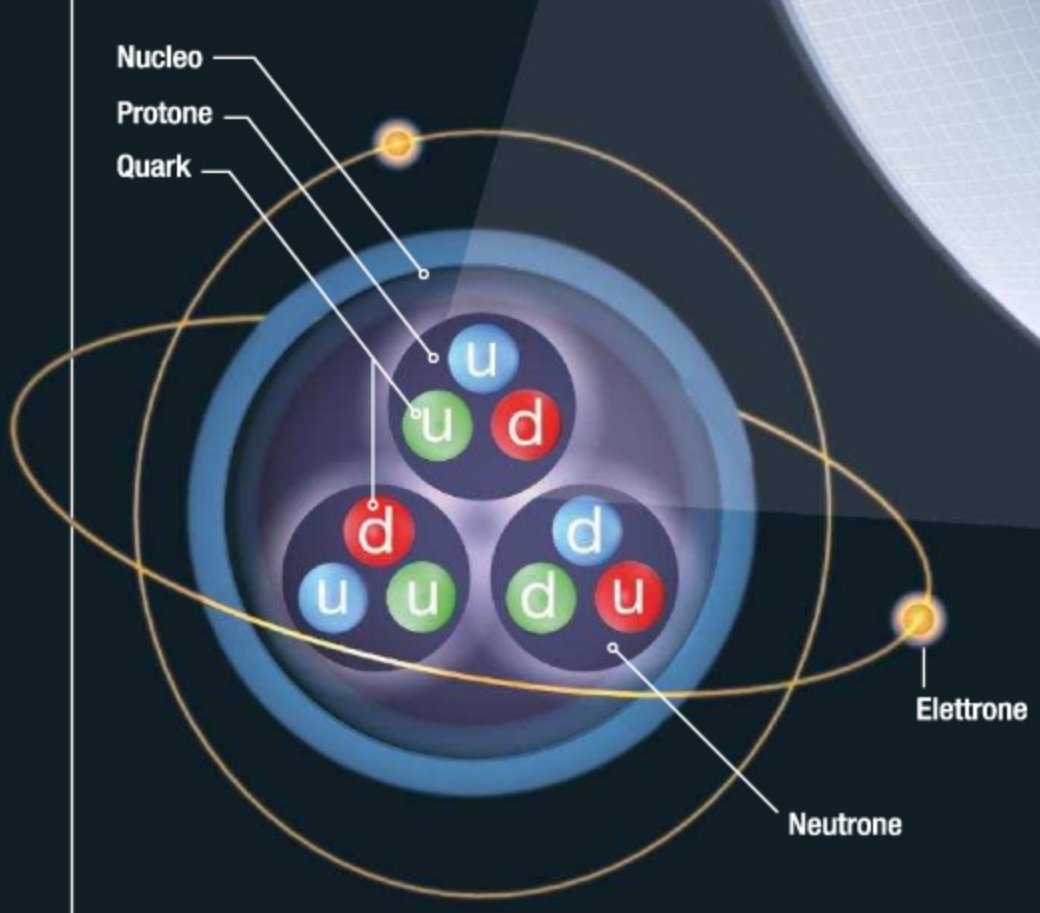
Illustrazione di Moonrunner Design

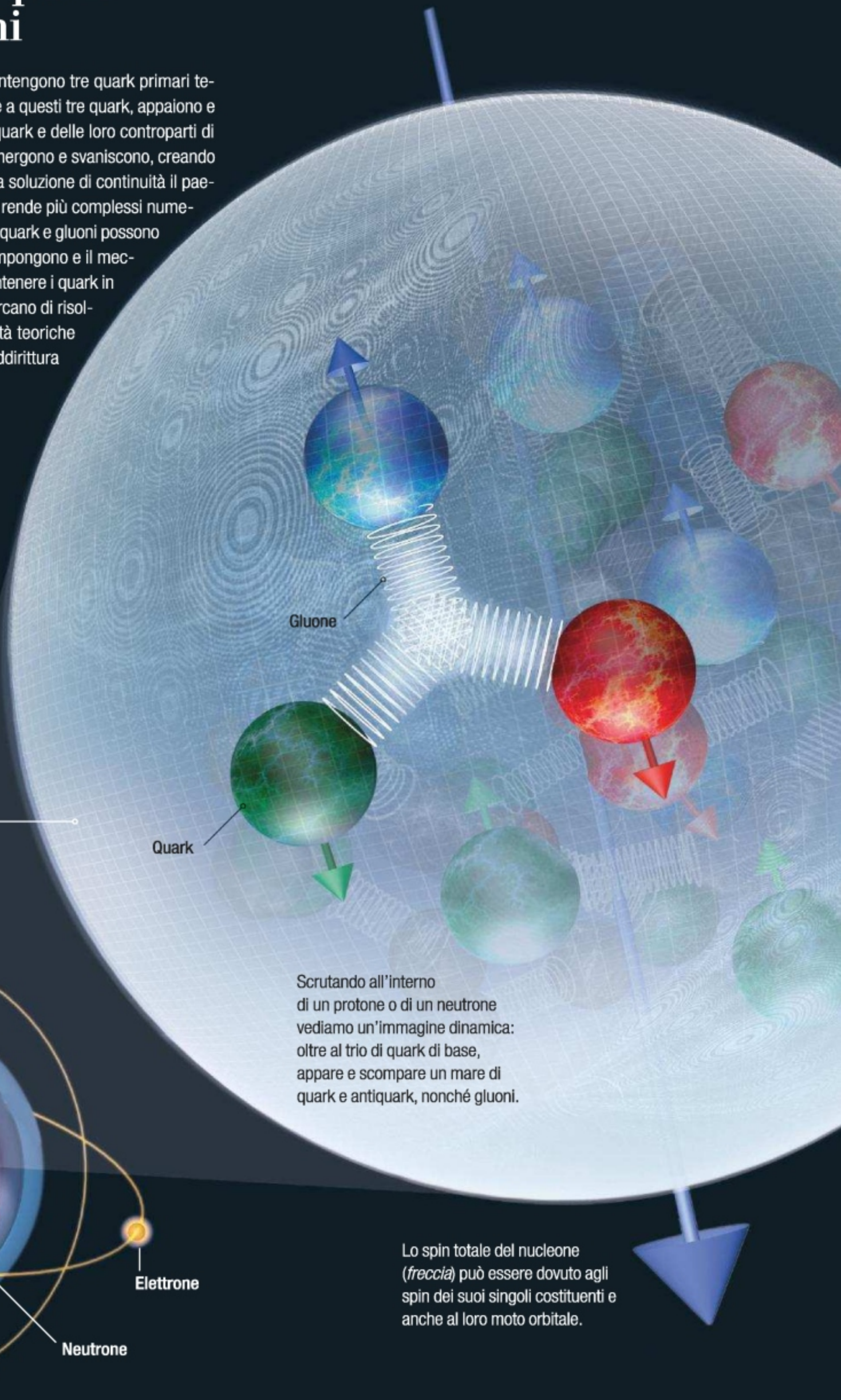
I misteri di quark e gluoni

Ogni protone e ogni neutrone di un atomo contengono tre quark primari tenuti insieme da gluoni (*in questa pagina*). Oltre a questi tre quark, appaiono e scompaiono in continuazione altre coppie di quark e delle loro controparti di antimateria, insieme a gluoni fantasma che emergono e svaniscono, creando una «schiuma quantistica» che modifica senza soluzione di continuità il paesaggio in protoni e neutroni. Questa cacofonia rende più complessi numerosi problemi fondamentali, per esempio come quark e gluoni possono spiegare massa e spin delle particelle che compongono e il meccanismo preciso con cui i gluoni riescono a contenere i quark in configurazioni stabili. Un modo in cui i fisici cercano di risolvere questi misteri è considerando le proprietà teoriche di configurazioni insolite di gluoni e quark, e addirittura cercando di crearle (*pagina a fronte*).

Struttura atomica: due possibilità

Nell'immagine classica di un atomo (*sotto*) gli elettroni orbitano attorno a un nucleo di protoni e neutroni formati da tre quark ciascuno. L'immagine a destra mostra invece la schiuma quantistica, un quadro più autentico e tumultuoso dell'interno delle particelle subatomiche.





Scrutando all'interno di un protone o di un neutrone vediamo un'immagine dinamica: oltre al trio di quark di base, appare e scompare un mare di quark e antiquark, nonché gluoni.

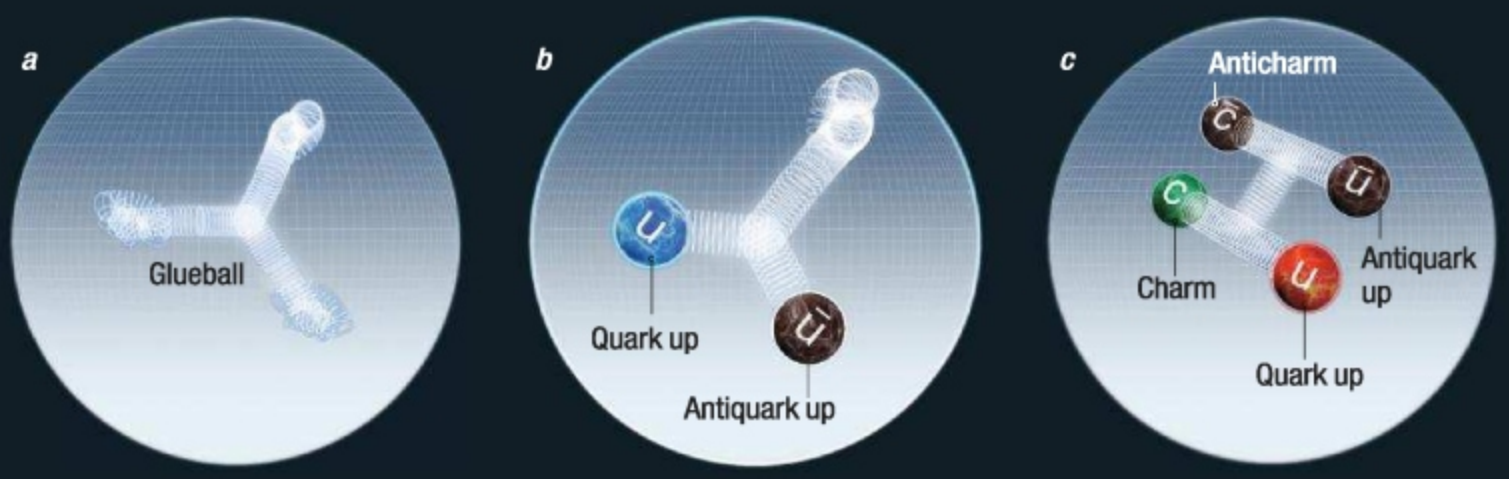
Lo spin totale del nucleone (*freccia*) può essere dovuto agli spin dei suoi singoli costituenti e anche al loro moto orbitale.

Stati esotici della materia

I fisici hanno teorizzato e in qualche caso creato combinazioni insolite di quark e gluoni oltre gli ordinari protoni e neutroni. Questi stati esotici offrono nuove possibilità per studiare le interazioni che possono avvenire tra quark e gluoni, aiutando potenzialmente a risolvere alcuni misteri fondamentali della materia.

Glueball e loro simili

Le simulazioni teoriche suggeriscono che quark e gluoni possano combinarsi per dare origine ad altre particelle oltre a protoni e neutroni. Per esempio possono esistere le «glueball» (*a*), particelle fatte solo di gluoni, oppure particelle «ibride» composte da stati legati quark-antiquark-gluone (*b*), o stati «tetraquark» in cui due antiquark sono legati a due quark (*c*). Ci sono sempre più prove dell'avvenuta scoperta dei tetraquark, mentre glueball e ibride devono ancora essere osservate.



Stati saturi

Se si portano protoni e neutroni a velocità estreme, i gluoni al loro interno si moltiplicano. Quando comincia ad accelerare, l'energia del protone aumenta e i gluoni si scindono in coppie di gluoni figli, ognuno con un'energia lievemente più bassa dell'originale. A loro volta i nuovi gluoni creano ulteriori figli con ancora meno energia. Alla fine il protone raggiunge una soglia oltre cui non c'è più posto per altri gluoni: uno stato teorico detto «condensato di vetro di colore». Ci sono forti indizi che uno stato simile sia apparso negli acceleratori di particelle, ma non ne esiste ancora una prova definitiva.

Un'imitazione dell'universo neonato

Quando il cosmo era giovane, faceva troppo caldo per permettere la formazione di atomi o anche solo di protoni e neutroni stabili. Quark e gluoni sfrecciavano liberamente in sciami tumultuosi. Di recente, grazie agli acceleratori, è stato riprodotto questo stato, il plasma di quark e gluoni (*illustrazione sotto a sinistra*), facendo collidere nuclei atomici quasi alla velocità della luce. Studiando il plasma mentre si raffredda, i fisici ottengono informazioni non solo sul comportamento di quark e gluoni, ma anche sulle prime fasi dell'evoluzione dell'universo.

Illustrazione di Moonrunner Design

fondamente anelastico mostrarono che i quark si attraggono debolmente a vicenda quando sono vicini, ma su distanze maggiori non si osservano quark liberi, il che implica che si debbano attrarre intensamente.

Per visualizzare come funziona l'interazione forte, immaginiamo due quark collegati da un elastico. Quando sono vicini l'elastico è lasco, e sui quark non pare agire alcuna forza; ma quando si allontanano la tensione dell'elastico li trattiene. La forza tra i quark corrisponde a un peso di 16 tonnellate a distanze dell'ordine di grandezza di un protone. Ma che cosa succede se una forza esterna agisce contro la trazione dell'interazione forte? L'elastico si spezza. Come si verifichi questa rottura è un altro mistero che non siamo in grado di spiegare, ed è fondamentale per capire come i gluoni incollino le particelle all'interno dei nuclei atomici ma non al di là.

Perché alcune particelle hanno un colore?

Negli anni settanta i fisici misero a punto una teoria chiamata cromodinamica quantistica (QCD) che descrive l'interazione forte dal punto di vista matematico. Come la forza elettromagnetica è collegata alla carica elettrica delle particelle, l'interazione forte, secondo la QCD, è collegata a una proprietà nota come «carica di colore». Il concetto di colore aiuta a chiarire perché l'interazione forte si comporti in modo tanto diverso dalla forza elettromagnetica, ma solleva anche un gran numero di nuovi problemi, come il motivo per cui alcune particelle hanno un colore mentre altre ne sono prive, e sono quindi indifferenti ai colori.

Secondo la QCD, sia i quark sia i gluoni sono dotati di una carica di colore. Tutte le particelle colorate interagiscono scambiandosi gluoni, il che implica che non solo i quark si passano gluoni tra loro, ma anche gli stessi gluoni se ne scambiano. Questa conseguenza della cromodinamica quantistica è un balzo enorme rispetto all'elettromagnetismo: i fotoni non interagiscono tra loro, come si osserva palesemente facendo incrociare vari fasci di luce in una stanza polverosa. I fisici pensano che proprio queste interazioni tra gluoni siano alla base del motivo per cui l'interazione forte diventa più debole da vicino. Un gluone può diventare temporaneamente o una coppia quark-antiquark o una coppia di gluoni, prima di ridiventare un singolo gluone. La fluttuazione in quark-antiquark rende più intensa l'interazione tra le cariche di colore, mentre la fluttuazione in coppia di gluoni la indebolisce. Dato che nella QCD queste oscillazioni che generano gluoni sono più frequenti di quelle che generano quark, sono le prime a prevalere. (Per questa scoperta nel 2004 i fisici David J. Gross, Frank Wilczek e H. David Politzer hanno ricevuto il premio Nobel per la fisica.)

Nei decenni trascorsi dalla formulazione della QCD, in tutto il mondo sono stati condotti esperimenti che hanno confermato le affermazioni di questa teoria e ne hanno fatto uno dei pilastri del modello standard della fisica. Tuttavia molti particolari della QCD continuano a sfuggirci. Per esempio, sebbene i tre quark all'interno di ogni protone abbiano ciascuno una carica di colore su tre possibili, che chiamiamo rosso, verde e blu, curiosamente il protone nel suo complesso non ha una carica di colore. Analogamente, il quark e l'antiquark di un adrone noto come mesone π (detto anche pione) hanno cariche di colore, mentre il pione ne è privo. La neutralità rispetto al colore degli adroni è analoga alla neutralità elettrica degli atomi, ma la carica elettrica nulla degli atomi è una chiara conseguenza del fatto che quella positiva del protone e quella negativa dell'elettrone di cancellano a vicenda, mentre non capiamo bene come nella QCD quark e gluoni colorati si combinino a formare adroni privi di colore.

La QCD dovrebbe anche spiegare come protoni e neutroni superino l'intensissima repulsione elettromagnetica tra i protoni, che rimangono coesi negli atomi. Eppure, nonostante alcuni progressi, dedurre la fisica nucleare dalla QCD è arduo: rimangono ostacoli, perché le equazioni della QCD sono tremendamente difficili da risolvere sulle lunghe distanze a cui le interazioni tra quark e gluoni diventano molto forti. E ci manca una dimostrazione matematica di come le equazioni della QCD garantiscano che quark e gluoni colorati rimangano confinati in adroni privi di colore. Questo «confinamento» è letteralmente una domanda da un milione di dollari: è uno dei problemi aperti identificati dal Clay Mathematics Institute, per la cui soluzione è in palio questa cifra.

Perché i gluoni non continuano a moltiplicarsi per sempre?

Una conseguenza singolare della QCD è che il numero di gluoni e quark all'interno del protone può variare notevolmente. Oltre ai tre quark di base, gluoni in quantità variabile svolazzano in giro come lucciole, cominciando e smettendo di esistere, e si formano e si dissolvono coppie quark-antiquark; il risultato è una «schiuma quantistica» di particelle che appaiono e scompaiono. I fisici ritengono che, quando protoni e neutroni raggiungono velocità estreme, i gluoni all'interno dei protoni si scindono in coppie di nuovi gluoni, ognuno con appena meno energia del genitore. I gluoni figli, a loro volta, ne generano altri, con ancora meno energia. Questa divisione dei gluoni somiglia a una macchina per il popcorn impazzita. La teoria fa pensare che questo fenomeno possa proseguire all'infinito, ma sappiamo che non è così.

Il numero di gluoni e quark all'interno di un protone può variare notevolmente

Se i gluoni continuassero a procreare, presto scoppierebbe il coperchio della macchina per il popcorn: in altre parole il protone diventerebbe instabile e collasserebbe. Dato però che la materia è palesemente stabile (noi esistiamo), è chiaro che qualcosa deve tenere a bada la valanga, ma che cosa? Un'idea è che la natura imponga una soglia massima quando i gluoni diventano così numerosi che all'interno del protone cominciano a sovrapporsi. Le autointerazioni forti fanno sì che si respingano a vicenda e i gluoni con meno energia si ricombinano in modo da formare gluoni più energetici. Quando la crescita del numero dei gluoni diminuisce, raggiungono uno stato stazionario di scissione e ricombinazione detto «saturazione» dei gluoni, il che riporta sotto controllo la macchina per il popcorn.

Questo ipotetico stato di gluoni saturi, detto anche «condensato di vetro di colore», sarebbe un'essenza distillata di alcune delle forze più intense dell'universo. Oggi abbiamo solo qualche indizio della sua esistenza e sappiamo poco delle sue proprietà. Sondando questo stato con esperimenti di scattering profondamente anelastico più potenti di quelli attuali, potremo esaminare i gluoni da vicino nella loro forma più densa ed estrema. Il campo di forze che limita la quantità di gluoni che si possono formare nel condensato di vetro di colore è uguale al campo di confinamento che tiene insieme i protoni? Se sì, osservare lo stesso campo in contesti diversi potrebbe farci capire meglio come i gluoni lo creano.

Da dove viene lo spin del protone?

Un ulteriore mistero relativo a quark e gluoni è il modo in cui generano lo spin complessivo delle particelle che compongono. Tutti gli adroni hanno uno spin, che è analogo all'energia di rotazione di un trottola che ruota attorno al proprio asse. Adroni con spin diversi hanno precessioni e deviazioni diverse se immersi nei campi generati da magneti potenti.

Gli esperimenti in cui è esaminato lo spin dei protoni mostrano che i quark ne generano circa il 30 per cento del totale. Da dove viene il resto dello spin di questi adroni? L'immagine composita del protone come mare brulicante di quark e gluoni suggerisce immediatamente che il resto dello spin possa essere fornito dai gluoni. Tuttavia gli esperimenti in cui si frantumano protoni polarizzati (nei quali cioè gli spin sono allineati od opposti al loro moto) in altri protoni polarizzati indicano che lo spin dei gluoni costituisce appena il 20 per cento circa dello spin di un protone, e quindi manca ancora il 50 per cento dello spin.

Un'analogia astronomica ci prospetta una possibile soluzione. Il momento angolare del sistema solare è dato dalle rotazioni dei singoli pianeti attorno ai rispettivi assi e dal loro moto orbitale attorno al Sole. Anche quark, antiquark e gluoni confinati all'interno dei protoni hanno un moto orbitale. Per capirne la portata, dobbiamo determinare sia le velocità sia le posizioni di quark e gluoni dentro il protone. A questo fine uno degli autori di questo articolo (Ent) partecipa a esperimenti di scattering profondamente anelastico con fasci di elettroni ad altissima intensità. Possiamo dire che stiamo passando dalle istantanee ai film tridimensionali della materia sulla scala subfemtometrica, ovvero al di sotto di un milionesimo di miliardesimo di metro.

Per capire la vera natura delle interazioni di quark e gluoni dobbiamo studiarle anche in stati esotici

Stati esotici della materia

Per capire la vera natura delle interazioni di quark e gluoni non dobbiamo studiarli solo nelle configurazioni familiari di protoni, neutroni e altre particelle ben note, ma in tutte le forme possibili. La QCD ammette l'esistenza di stati esotici degli adroni oltre i protoni e i neutroni ordinari. Le simulazioni fanno ritenere che possano esistere nuovi adroni privi di colore, come le *glueball* («palle di colla»), che contengono esclusivamente gluoni, le «molecole» composte da due coppie quark-antiquark o le entità ibride classificate come stati legati quark-antiquark-gluone. Le prove sperimentali di questi adroni esotici sono limitate: finora si è identificata qualche possibile molecola tetraquark. La situazione potrebbe però essere sul punto di cambiare significativamente, grazie a varie ricerche sperimentali condotte in tutto il mondo. In particolare una struttura apposita chiamata GlueX sta per entrare in funzione presso la Thomas Jefferson National Accelerator Facility a Newport News, in Virginia.

Di recente i fisici hanno scoperto un altro stato estremo della materia noto come plasma di quark e gluoni. Si forma quando i nuclei atomici collidono a velocità prossime a quella della luce. I fisici teorici sospettano che quando neutroni e protoni accelerati dei due nuclei si scontrano il loro condensato di vetro di colore vada in frantumi, spezzando il confinamento di quark e gluoni e liberando l'energia dei condensati: in questo modo si creerebbe uno sciame febbrile di quark e gluoni. Questo plasma è la materia più calda mai creata sulla Terra, con una temperatura superiore ai 4000 miliardi di gradi. Una singolare proprietà di questo materiale è di scorrere senza quasi opporre resistenza: almeno 20 volte meno dell'acqua.

Il plasma di quark e gluoni presenta forti somiglianze con l'universo delle origini. Gli scienziati dei laboratori che hanno creato questi plasmi — il Relativistic Heavy Ion Collider del Brookhaven National Laboratory negli Stati Uniti e LHC del CERN a Ginevra – osservano attualmente i fluidi più piccoli e più perfetti del mondo. Studiando questi plasmi mentre si raffreddano, due di noi (Ullrich e Venugopalan) e altri acquisicono informazioni sul modo in cui si è evoluto l'universo. E facendo in modo che protoni e neutroni si distruggano generando questo plasma è possibile studiare il confinamento al contrario, nella speranza di scoprire i segreti di come quark e gluoni rimangono coesi.

Il futuro

Idealmente, i fisici vorrebbero tracciare in modo esaustivo posizioni, moto e spin di gluoni e quark all'interno dei protoni e dei neutroni. Mappe del genere ci aiuterebbero a calcolare i contributi di quark e gluoni alla massa e allo spin totale delle particelle a cui appartengono. Queste mappe fornirebbero informazioni senza precedenti sull'attività di quark e gluoni che legano protoni e neutroni. Costruire queste immagini richiede un femtoscopio per quark e gluoni, uno strumento per scattering profondamente anelastico analogo a un microscopio che permetterebbe di scrutare all'interno della materia a scale fino a un millesimo del raggio del protone. Negli Stati Uniti, il Jefferson Lab e il Brookhaven National Laboratory sono alla ricerca di fondi e autorizzazioni per un femtoscopio che farebbe collidere elettroni con protoni polarizzati e nuclei di piombo. Rispetto agli esperimenti precedenti, in cui si facevano collidere elettroni ad alta velocità contro bersagli nucleari stazionari, in questa macchina entrambi i tipi di particelle accelereranno quasi alla velocità della luce prima dello scontro.

Il progetto di un collisore elettroni-ioni permetterebbe di giungere a livelli di intensità senza precedenti, il che vorrebbe dire che le particelle dei fasci in collisione sarebbero così compatte e in numero così elevato che gli urti si verificherebbero a un frequenza maggiore di ogni esperimento compiuto finora. L'incremento nelle collisioni, fino a 1000 volte più di qualsiasi altro collisore per scattering profondamente anelastico, permetterebbe di generare molte singole istantanee dell'interno di protoni e neutroni.

Nei quarant'anni trascorsi dalla formulazione della cromodinamica quantistica, i fisici hanno fatto alcuni grandi passi avanti verso la spiegazione dei motivi per cui la forza forte si comporta come si comporta e verso l'individuazione delle lacune nella nostra conoscenza della dinamica di quark e gluoni. Ma non abbiamo ancora tutti i pezzi per produrre una descrizione semplice e coerente di come i gluoni incollino. Le tecnologie attualmente in corso di sviluppo fanno sperare che entro altri quarant'anni avremo finalmente svelato il mistero di come è fatta la materia al livello più fondamentale. ■

PER APPROFONDIRE

I primi tre microsecondi. Riordan M. e Zajc W.A., in «Le Scienze» n. 455, luglio 2006.

Reliable Perturbative Results for Strong Interactions? Politzer H.D., in «Physical Review Letters», Vol. 30, n. 26, pp. 1346-1349, 25 giugno 1973.

Ultraviolet Behavior of Non-Abelian Gauge Theories. Gross D.J. e Wilczek F., in «Physical Review Letters», Vol. 30, n. 26, pp. 1343-1346, 25 giugno 1973.

GURNEY

PALEONTOLOGIA

L'ascesa dei *tirannosauri*

Nuovi fossili raccontano una storia diversa di *Tyrannosaurus rex*

di Stephen Brusatte

Il piccolo tirannosauro *Dilong* difende la sua preda da un gruppo di *Yutyrannus*, un altro genere di tirannosauro, in una foresta primordiale in Cina 125 milioni

Stephen Brusatte è paleontologo all'Università di Edimburgo. La sua ricerca riguarda anatomia ed evoluzione dei dinosauri. Brusatte è autore di più di 70 articoli tecnici e cinque libri sui dinosauri, ed è il paleontologo di riferimento per il programma *Walking with Dinosaurs* di BBC.

In una rovente giornata estiva del 2010 un operaio edile nella città di Ganzhou, nel sud-est della Cina, stava scavando le fondamenta di un palazzo quando il suo escavatore ha colpito qualcosa di duro. Sceso per vedere di che cosa si trattasse, temeva il peggio: uno strato impenetrabile di roccia dura, un antico acquedotto o qualche altra cosa che avrebbe inevitabilmente ritardato il completamento della zona industriale che la sua squadra si affrettava a terminare. Ma quando la polvere e il fumo si sono posati è venuto alla luce un colpevole molto diverso: ossa, moltissime ossa, alcune enormi.

In effetti quel giorno i lavori sono stati fermati, perché le ossa si rivelarono una scoperta importante. Gli operai avevano trovato uno scheletro quasi completo di una nuova bizzarra specie di dinosauro, un parente di *Tyrannosaurus rex*. Qualche anno dopo i colleghi cinesi mi hanno invitato a studiare insieme l'esemplare, e a maggio 2014 abbiamo scoperto che rappresenta l'aggiunta più recente all'albero genealogico dei tirannosauri: *Qianzhousaurus sinensis*. Il nome formale è un po' uno scioglilingua, quindi lo abbiamo chiamato con un soprannome divertente: *Pinocchio rex*, a causa del suo naso particolarmente lungo.

Qianzhousaurus fa parte di una nuova serie di tirannosauri venuti alla luce negli ultimi dieci anni, che sta trasformando la nostra conoscenza di questo gruppo di animali. Da quando è stato scoperto il primo *T. rex*, più di cent'anni fa, il colosso lungo 13 metri e dal peso di cinque tonnellate ha dominato la ribalta. Eppure la sua storia evolutiva non è chiara agli scienziati. Durante il XX secolo i ricercatori hanno scoperto alcuni parenti prossimi, tutti molto grandi, e hanno capito che *Tyrannosaurus rex* non era una stranezza: questi grandi predatori formano un proprio ramo nella genealogia dei dinosauri. Ma gli scienziati non riuscivano a capire quando fossero comparsi, da che cosa si fossero evoluti, come fossero riusciti a diventare così grandi e ad arrivare in cima alla catena alimentare. Finora queste domande sono rimaste senza risposta.

Negli ultimi 15 anni i ricercatori hanno recuperato quasi 20 nuove specie di tirannosauro in diverse parti del mondo, dai deserti della Mongolia alle fredde lande del Circolo polare artico. Questi ritrovamenti hanno permesso di mettere insieme l'albero genealogico dei tirannosauri, con risultati sorprendenti. Si è scoperto che per la maggior parte della loro storia i tirannosauri furono principalmente carnivori marginali grandi come un essere umano, arrivando a grandi dimensioni e al dominio nella loro nicchia ecologica solo negli ultimi 20 milioni anni dell'era dei dinosauri, che iniziò circa 250 milioni di anni fa e coprì i periodi Triassico, Giurassico e Cretaceo. Lungi dall'appartenere a una dinastia di grandi predatori, il re dei dinosauri aveva origini molto umili, ed era solo l'ultimo sopravvissuto di una grande varietà di tirannosauri vissuti sul globo fino all'impatto dell'asteroide che 66 milioni di anni fa chiuse l'era dei dinosauri e inaugurò quella dei mammiferi.

È nata una stella

La storia di come siamo arrivati alla genealogia dei tirannosauri ha inizio con la scoperta di *Tyrannosaurus rex* da parte di Henry Fairfield Osborn. All'inizio del XX secolo Osborn era uno degli scienziati più in vista negli Stati Uniti. Era presidente dell'American Museum of Natural History di New York e dell'American Academy of Arts and Sciences, e star della copertina della rivista «Time». Usava la visibilità per diffondere le proprie idee su eugenetica e superiorità razziale, quindi oggi è spesso ignorato come uno dei tanti bigotti razzisti degli anni ormai andati. Ma Osborn era un bravo paleontologo e un amministratore scientifico anche migliore, e una delle sue decisioni più azzeccate fu mandare un collezionista di fossili, Barnum Brown, nell'ovest degli Stati Uniti alla ricerca di dinosauri.

Brown stesso era un personaggio eccentrico, un uomo che cercava fossili nel bel mezzo dell'estate con un cappotto di pelliccia lungo fino alle caviglie, e si guadagnava qualche soldo extra come spia per il governo e le aziende petrolifere. Il giovanotto però aveva un buon istinto, e nel 1902 fece una delle scoperte più famose nella storia della paleontologia: un dinosauro gigante, carnivoro, in aree rocciose del Montana caratterizzate da calanchi.

Quando alcuni anni dopo questo dinosauro fu descritto, Osborn gli diede un nome il cui valore di mercato superò l'esame degli

IN BREVE

I paleontologi conoscono *Tyrannosaurus rex* e altri tirannosauri da decenni, ma durante questo arco di tempo non erano riusciti a capire quando avevano avuto origine e da che cosa si erano evoluti questi animali, perché mancavano i fossili necessari a risolvere questi enigmi. **Fossili di recente scoperta** hanno aiutato a riempire le lacune nella conoscenza di questo gruppo iconico. Queste scoperte hanno rivelato che i tirannosauri hanno radici evolutive sorprendentemente profonde e umili. **Inoltre, il gruppo** comprende una varietà di forme molto più ampia del previsto, inclusi alcuni tirannosauri con caratteristiche anatomiche veramente bizzarre.

Illustrazione di James Gurney (*pagine precedenti*)

anni: *Tyrannosaurus rex*, ovvero il «re tiranno delle lucertole». Fu una notizia sensazionale, che arrivò sulle prime pagine dei giornali di tutto il paese. Osborn e Brown avevano mostrato al mondo il predatore più grande e più feroce che avesse calpestato il suolo della Terra.

Tyrannosaurus rex divenne la celebrità per antonomasia tra i dinosauri, la stella rappresentata in film e mostre nei musei di tutto il mondo. Ma la sua fama nascondeva un segreto: per quasi tutto il XX secolo gli scienziati non ebbero idea di come e dove si inserisse nel più ampio schema evolutivo dei dinosauri. Era una singolarità, una creatura tanto più grande e diversa rispetto agli altri dinosauri predatori, che era difficile trovare un posto per la sua foto nell'album di famiglia di questi animali.

Nei decenni successivi, però, altri paleontologi scoprirono una manciata di parenti stretti di *Tyrannosaurus rex*, vissuti più o meno nello stesso periodo (il Cretaceo superiore) in altri siti del Nord America e dell'Asia, datati tra 84 e 66 milioni di anni fa. Questi tirannosauri (*Albertosaurus*, *Gorgosaurus*, *Tarbosaurus*) sono molto simili a *Tyrannosaurus rex*: giganteschi superpredatori, che ebbero grande successo durante gli ultimi istanti della storia dei dinosauri. I fossili erano impressionanti, ma furono di poco aiuto nel capire le origini del gruppo.

Umili origini

Diverse scoperte recenti aiutano a riempire le considerevoli lacune nella nostra conoscenza dei tirannosauri, e vengono dalle località più disparate. La scoperta stereotipata di ossa di dinosauro coinvolge intrepidi paleontologi che si avventurano in qualche angolo sperduto del deserto nell'ovest degli Stati Uniti, in Argentina, nel deserto del Gobi o in quello del Sahara, e, sfidando caldo, polvere e serpenti, scavano i fossili dalle loro tombe di roccia. Oggi però sbucano dinosauri in tutto il mondo, addirittura nelle lande settentrionali della Russia, dove i paleontologi devono sfidare il freddo più intenso durante l'inverno, e umidità e zanzare in estate.

Lo studio dei tirannosauri è iniziato nel 1902, quando in aree rocciose del Montana, negli Stati Uniti, sono stati scoperti i primi fossili di *T. rex*

Uno di questi paleontologi miei colleghi è Aleksandr Aver'janov, dell'Istituto di zoologia all'Accademia russa delle scienze a San Pietroburgo. Nel 2010 il suo gruppo ha annunciato una scoperta provocatoria nella vasta regione di Krasnojarsk, nella Siberia centrale: un mucchio di ossa di un piccolo dinosauro carnivoro, vissuto molto prima di *Tyrannosaurus rex* (circa 170 milioni di anni fa, nel Giurassico medio), con dimensioni simili a un essere umano. Lo hanno chiamato *Kileskus*, dalla parola «lucertola» in lingua locale. È risultato un indizio fondamentale per l'ascesa dei tirannosauri.

A prima vista, *Kileskus* non è così degno di nota. Non somiglia nemmeno a *Tyrannosaurus rex*, che, se fosse vissuto in Russia nel Giurassico medio, avrebbe spiaccicato *Kileskus* come uno scarafaggio, perfino con le sue braccia pateticamente piccole. Ma *Kileskus* mostra indubbie somiglianze con un altro piccolo carnivoro, *Guanlong*, vissuto circa 10 milioni di anni più tardi in Cina e descritto nel 2006. Per esempio, entrambi hanno una cresta ossea vistosa sulla cima della testa. E *Guanlong*, di cui sappiamo molte più cose grazie alla scoperta di esemplari più completi rispetto a *Kileskus*, ha caratteristiche osservate solo nei tirannosauri, come ossa nasali fuse insieme nel muso. Questi tratti condivisi sono segni di un comune antenato: il modesto *Kileskus*, quasi non degno di nota, e *Guanlong* sono la stirpe ancestrale da cui discese il grande *Tyrannosaurus rex*.

Queste due scoperte hanno tratteggiato un quadro sorprendente dell'ascesa dei tirannosauri. Hanno rivelato che agli inizi il gruppo non era composto da enormi predatori feroci, come avevano ipotizzato molti ricercatori al tempo della scoperta dei primi tirannosauri, ma di carnivori di secondo o terzo grado, che vivevano all'ombra dei giganti predatori appartenenti a gruppi lontanamente correlati, come allosauri o ceratosauri. Inoltre, le radici dei tirannosauri arrivavano molto più in profondità di quanto si sospettasse. La loro esistenza coincise con il periodo in cui il supercontinente Pangea non era del tutto frammentato, quindi gli animali si muovevano con relativa facilità tra le diverse terre emerse. Questa geografia spiega perché sono stati scoperti tirannosauri molto antichi in Russia e in Cina, e specie più recenti in Stati Uniti e Regno Unito, e forse anche in Australia (la categorizzazione tassonomica di alcuni dinosauri predatori australiani è ancora oggetto di dibattito).

Tutti questi esemplari messi insieme mostrano anche che fu necessario un tempo sorprendentemente lungo per l'arrivo al potere dei tirannosauri: la separazione temporale tra tirannosauri ancestrali e *Tyrannosaurus rex* (almeno 100 milioni di anni) è più grande di quella tra *T. rex* ed esseri umani (66 milioni di anni).

Caldo e morbido

Sebbene i tirannosauri abbiano raggiunto lentamente le loro gigantesche proporzioni, questo ritardo non significa che nel frattempo la loro evoluzione fosse stagnante. Troviamo infatti un numero sempre più grande di prove a sostegno di una diversificazione notevole, molto prima dell'apparizione di dinosauri come *Tarbosaurus*, o *Tyrannosaurus rex*. Esempi impressionanti di questa proliferazione vengono dalla provincia di Liaoning, in Cina.

Liaoning non è esattamente il posto più bello del mondo. Sono cresciuto nelle monotone pianure nel centro degli Stati Uniti, tuttavia mi riesce difficile tenere gli occhi aperti durante le tre ore e mezzo di viaggio da Pechino, attraverso chilometri e chilometri di paesaggio collinoso, immerso nella foschia, punteggiato di fattorie e ciminiere. Ma questo posto è una miniera d'oro per i cacciatori di fossili.

Negli ultimi vent'anni i contadini di questa regione hanno trovato migliaia di scheletri di dinosauro. Tra 130 e 120 milioni di anni fa, eruzioni vulcaniche continue ricoprirono le sfortunate creature di cenere e fango, conservando i loro resti con tutti i particolari. Tra i molti animali scoperti in questa «Pompei del Cretaceo» ci sono due interessanti specie di tirannosauro. Nel 2004 il mio collega Xu Xing, dell'Istituto di paleontologia dei vertebrati e paleoantropologia di Pechino, ha annunciato ufficialmente la prima di queste specie: *Dilong*. Grande più o meno come un cane Golden Retriever, *Dilong* aveva lunghi arti anteriori per catturare la preda e uno scheletro agile, dalle lunghe zampe posteriori, fatto per correre.

La seconda specie, descritta da Xu nel 2012, è un animale molto diverso. Lungo 8 o 9 metri, pesante una tonnellata, probabilmente questo dinosauro (chiamato *Yutyrannus*) era in cima alla catena alimentare, o quasi. Entrambi questi tirannosauri sono stati scoperti nella stessa formazione rocciosa, e potrebbero essere vissuti

Tutto in famiglia

Una serie di fossili scoperti in anni recenti ha aiutato a disegnare l'albero genealogico del tirannosauro. Le scoperte hanno mostrato che i tirannosauri erano un gruppo sorprendentemente vario, in cui le enormi dimensioni associate a *Tyrannosaurus rex* si sono evolute molto lentamente.

Gli interpreti

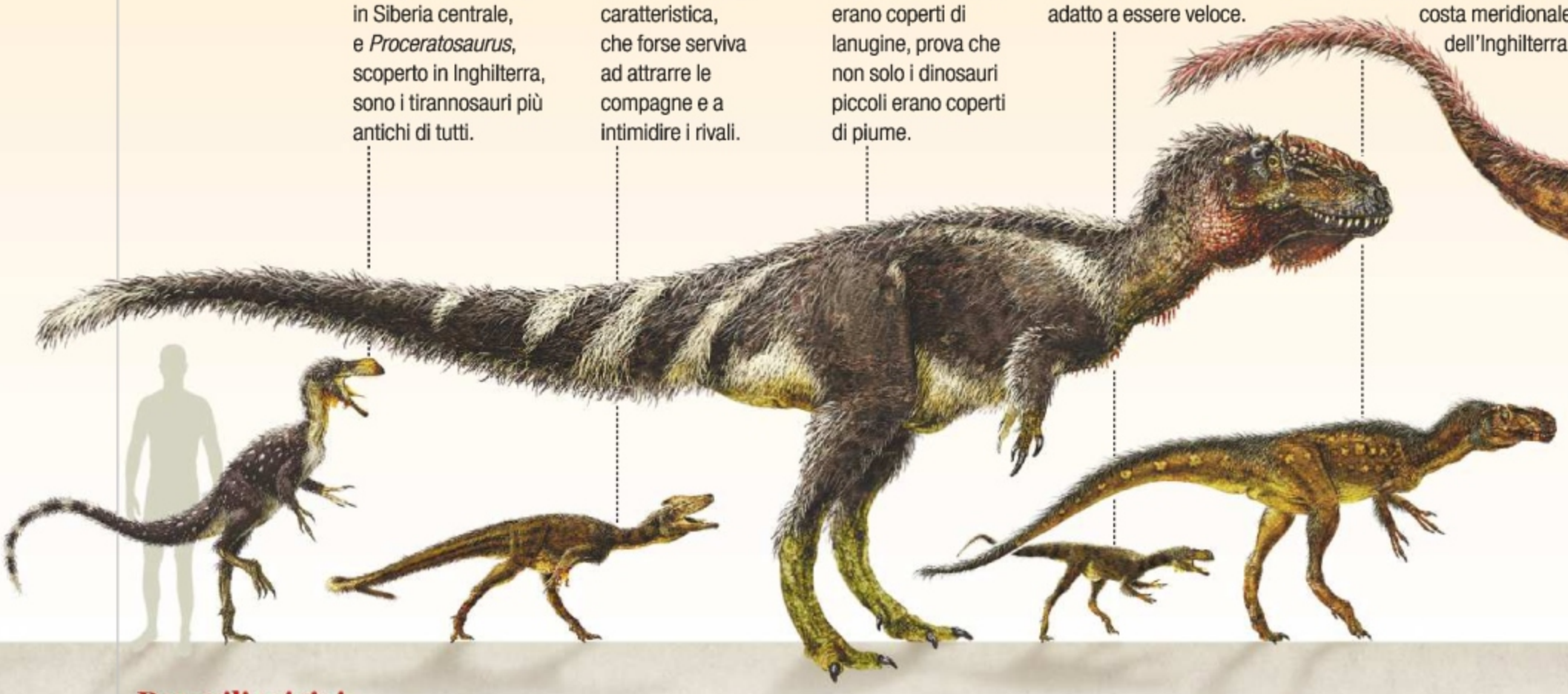
1 ***Kileskus*** Specie piccola e battagliera scoperta in Siberia centrale, e *Proceratosaurus*, scoperto in Inghilterra, sono i tirannosauri più antichi di tutti.

2 ***Guanlong*** Questo tirannosauro cinese aveva una cresta caratteristica, che forse serviva ad attrarre le compagne e a intimidire i rivali.

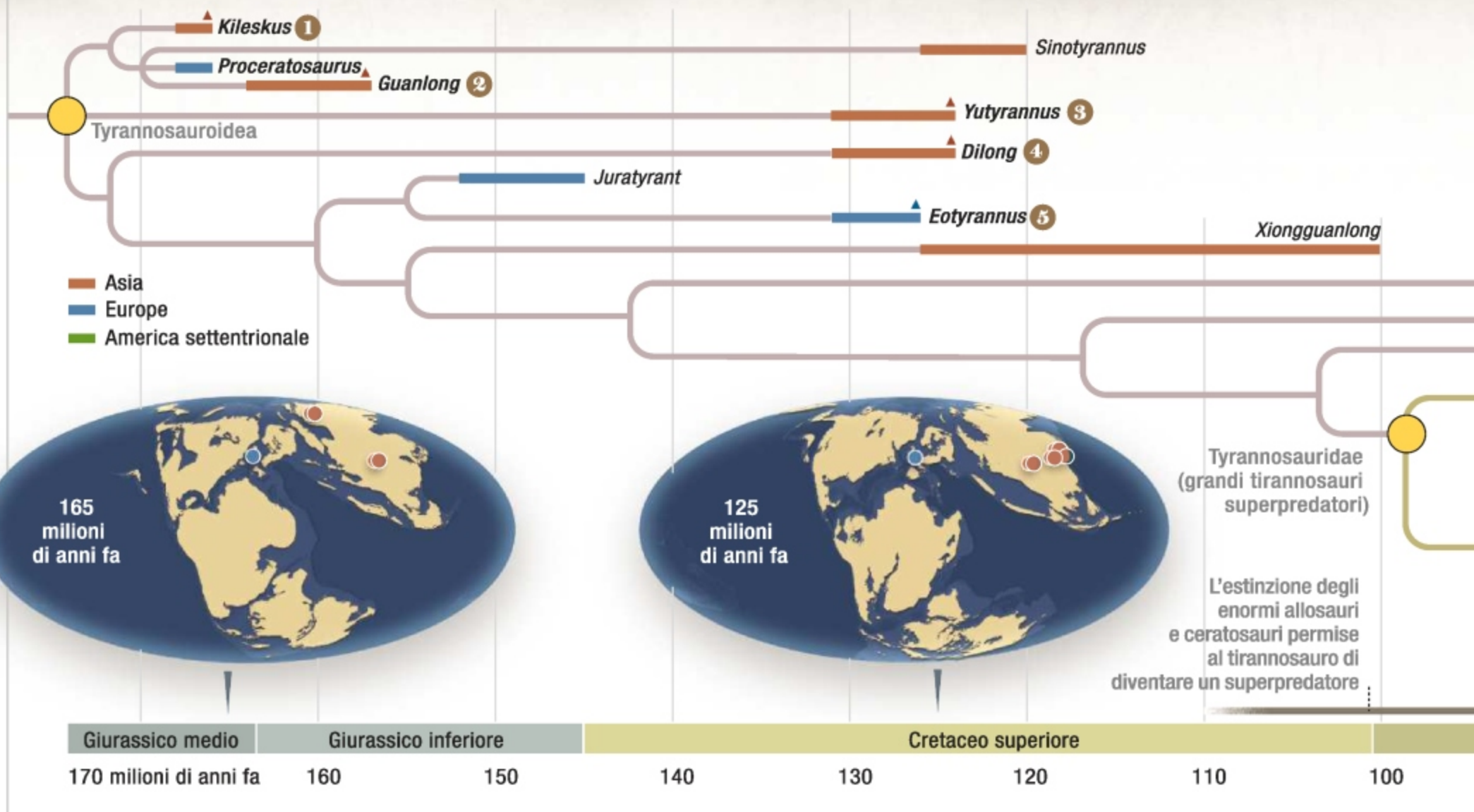
3 ***Yutyrannus*** Fossili di questa specie di grandi dimensioni erano coperti di lanugine, prova che non solo i dinosauri piccoli erano coperti di piume.

4 ***Dilong*** Il dinosauro più piccolo, cinese, con lunghe zampe, era adatto a essere veloce.

5 ***Eotyrannus*** Fossili di questa specie dalle lunghe dita vengono dall'isola di Wight, al largo della costa meridionale dell'Inghilterra.



Da umili origini...



6

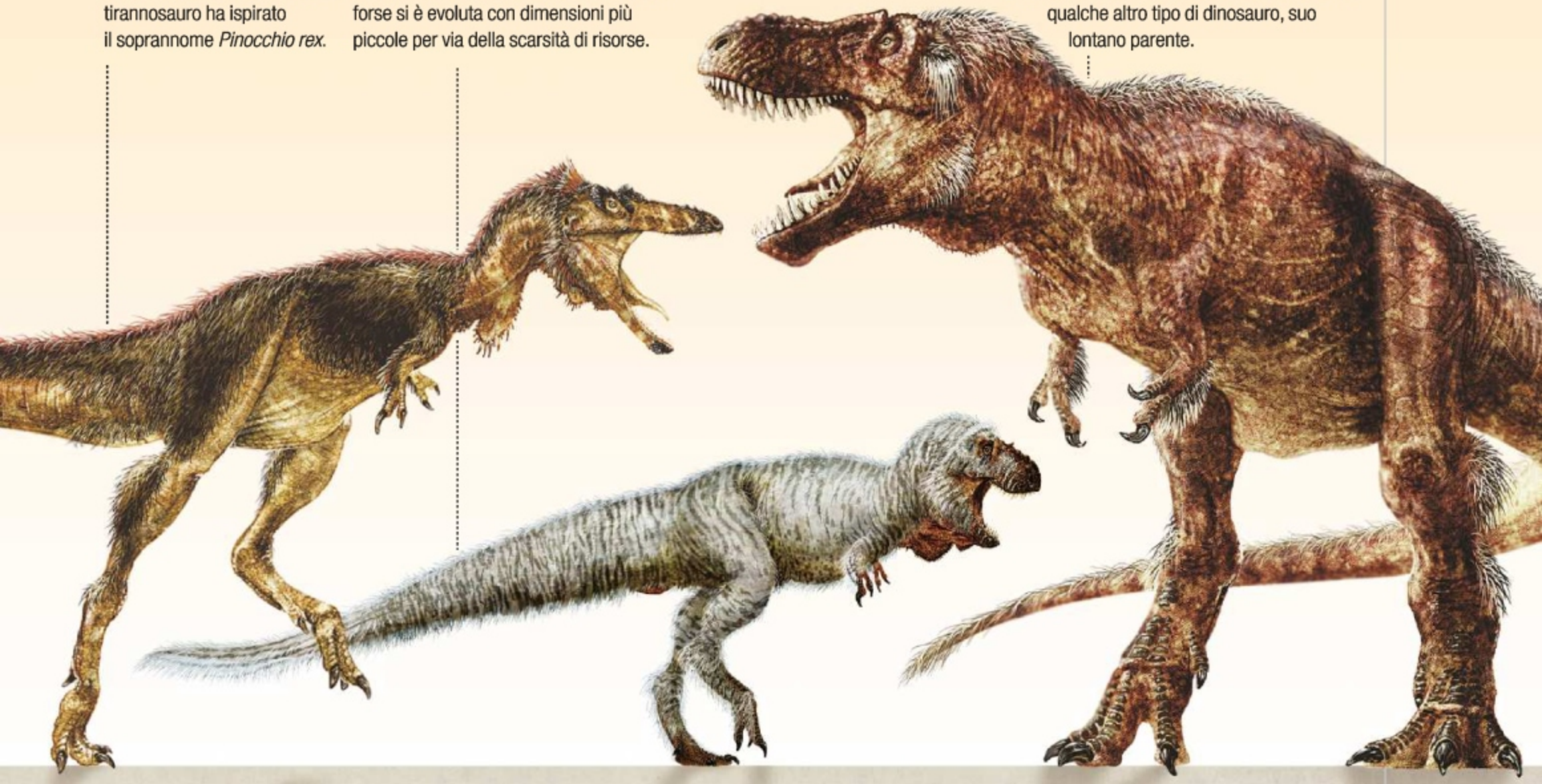
Qianzhousaurus Il muso insolitamente lungo di questo tirannosauro ha ispirato il soprannome *Pinocchio rex*.

7

Nanuqsaurus Il tirannosauro più nordico tra quelli scoperti è una specie artica che forse si è evoluta con dimensioni più piccole per via della scarsità di risorse.

8

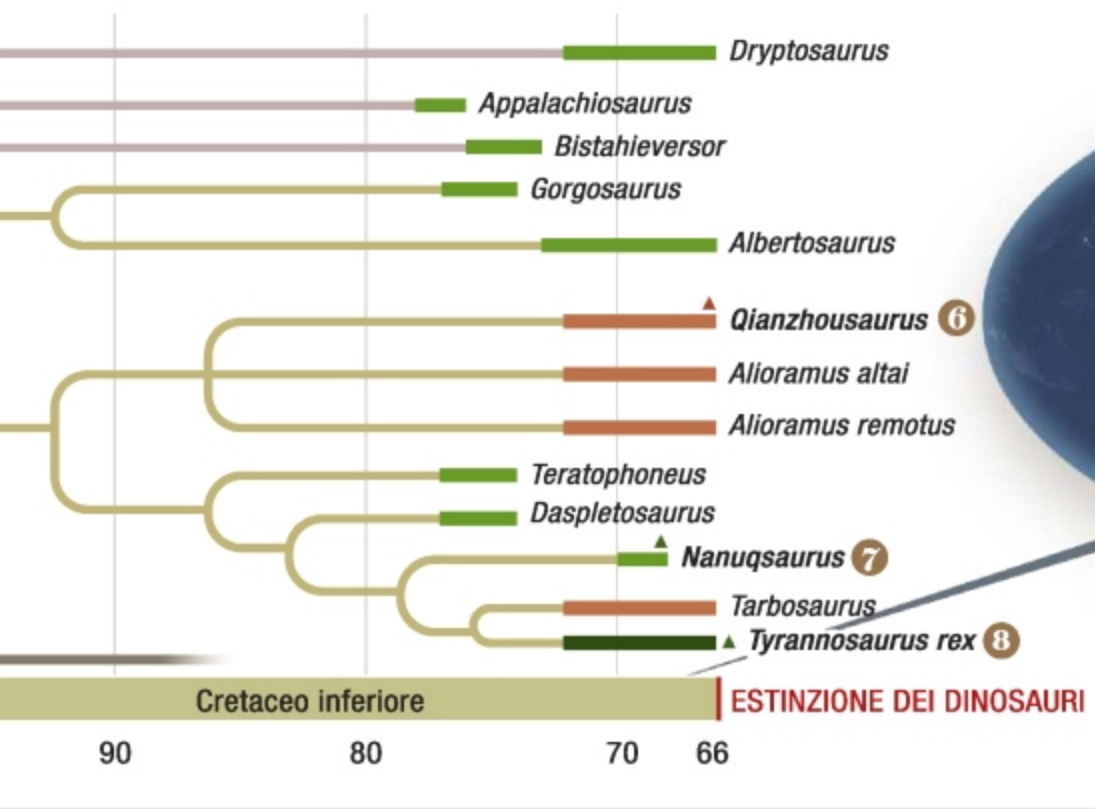
Tyrannosaurus rex Il re tiranno è stato uno dei più grandi predatori della Terra, eguagliato solo da qualche altro tipo di dinosauro, suo lontano parente.

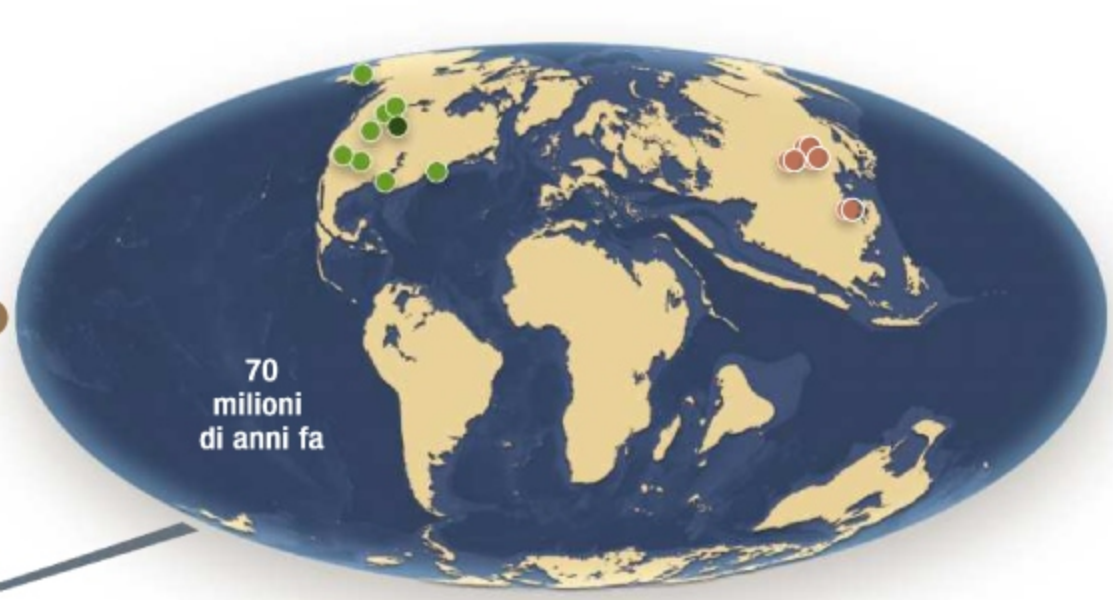


...a superpredatori

Biogeografia del tirannosauro

Il numero sempre più cospicuo di fossili di tirannosauro mostra che questo gruppo era molto più diffuso di quanto si pensasse, con scoperte in Stati Uniti, Regno Unito, Cina, Russia, e forse anche in Australia. I tirannosauri riuscivano a diffondersi in vaste aree perché si sono evoluti durante un periodo in cui i continenti non erano ancora lontani l'uno dall'altro, e questo rendeva più semplice passare da un'area continentale all'altra.





Illustrazioni di Todd Marshall (*dinosauri*), grafica a cura di 5W Infographics.
Fonte: mappe tettoniche e paleogeografiche di C. R. Scotese, Paleomap Project, 2009

nello stesso periodo, circa 125 milioni di anni fa. Insieme, queste specie, che hanno ossa nasali fuse e altre caratteristiche tipiche dei tirannosauri, dimostrano che nel Cretaceo superiore i tirannosauri si erano separati in un proprio ramo con una gamma di nuove specie che occupavano diversi ruoli ecologici, inoltre alcune sperimentavano dimensioni del corpo più grandi.

Dilong e *Yutyrannus* sono importanti anche per un'altra ragione. Un tempo i paleontologi consideravano i dinosauri semplicemente come rettili squamosi troppo cresciuti e molto pesanti. In anni recenti, però, i ricercatori hanno trovato prove per cui diverse specie di dinosauro esibivano coperture piumate invece che scaglie, ed erano generalmente più dinamiche e intelligenti di quanto si pensasse. In poche parole, erano più uccelli che rettili, e *Dilong* e *Yutyrannus* dimostrano senza ombra di dubbio che i tirannosauri rientrano in questa descrizione. Le ossa di queste due specie sono coperte da una lanugine spessa e piumosa, non come le piume del tipo «penna d'oca» che compongono le ali degli uccelli moderni, ma piume più semplici, filamentose, simili a capelli. Al contrario degli uccelli, i tirannosauri non volavano, probabilmente usavano le piume per mettersi in mostra o per mantenersi caldi. La presenza di piume nei tirannosauri e in molti altri dinosauri suggerisce che anche *Tyrannosaurus rex* fosse piumato. Se pensate che il re tiranno non fosse abbastanza terrorizzante, provate a immaginarlo come un tremendo grifone, gigantesco, energico e intelligente.

L'ascesa dei re

Le nuove scoperte in Russia, Cina e altri luoghi mostrano che i tirannosauri godettero di ottima salute dal Giurassico medio fino al Cretaceo superiore. Magari non erano proprio i *boss*, ma avevano trovato la loro nicchia come predatori veloci e furtivi, anche se non esattamente spettacolari. Poi però accadde qualcosa. Tra 110 e 85 milioni di anni fa, nel bel mezzo del Cretaceo, l'ecosistema dei dinosauri subì una trasformazione radicale. Allosauri e ceratosauri, che occupavano da tempo la sommità della piramide ecologica, sparirono quasi del tutto, e i tirannosauri assunsero il ruolo di predatori dominanti, o superpredatori, nei continenti settentrionali. La ragione precisa di questo cambiamento non è chiara, perché i fossili di dinosauri del Cretaceo medio sono rari. Forse fu a causa di un'estinzione di massa avvenuta circa 94 milioni di anni fa, in corrispondenza con l'aumento della temperatura e la variazione del livello del mare.

Se il re tiranno non era abbastanza terrorizzante, provate a immaginarlo come un tremendo grifone, gigantesco, energico e intelligente

Ma, a prescindere dal modo in cui ci arrivarono, i tirannosauri in cima alla catena alimentare si trovarono benissimo. Negli ultimi vent'anni del Cretaceo regnarono in Nord America e in Asia: predatori con testa enorme, braccia piccole e dal peso di diverse tonnellate. Le loro mandibole erano così potenti che sbriciolavano le ossa delle prede; crescevano molto in fretta, aumentando il loro peso di diversi chilogrammi ogni giorno durante l'adolescenza. E vivevano altrettanto di corsa: i paleontologi non hanno ancora trovato un esemplare vissuto più di trent'anni.

Per quanto successo avessero in Nord America e in Asia, non sembra che i colossali tirannosauri abbiano mai preso piede in Europa o nei continenti meridionali, dove prosperavano altri gruppi di predatori. La ricostruzione del clima terrestre e della configurazione continentale nel Cretaceo inferiore dà un indizio sul perché di questa differenza. All'epoca il mondo era molto diverso da quello in cui si erano evoluti i primi tirannosauri, più piccoli. I continenti si erano allontanati, raggiungendo una posizione vicina a quella attuale. Inoltre il livello del mare molto più alto aveva diviso l'America in due e ridotto l'Europa a una miriade di isolette. La Terra del *Tyrannosaurus rex* era un pianeta molto frammentato; come risultato, i campioni di una certa regione non riuscivano a conquistarne un'altra per la semplice ragione che non riuscivano a raggiungerla.

Varietà persistente

Nelle regioni in cui i mega-tirannosauri arrivarono al potere, ci si potrebbe aspettare che avessero spazzato via gli altri tirannosauri, quelli più delicati. Fossili scoperti di recente suggeriscono il contrario: rivelano una diversità di tirannosauri distribuiti per tutta la catena alimentare, anche durante gli ultimi anni del Cretaceo, quando la stirpe di *Tyrannosaurus rex* regnava incontrastata.

Qianzhousaurus, il dinosauro Pinocchio scoperto nel cantiere cinese, è un esempio perfetto. Quando il mio collega Junchang Lü, dell'Istituto di geologia dell'Accademia cinese di scienze geologiche, mi ha mostrato le prime fotografie dell'esemplare nel 2013 a un congresso sono rimasto sorpreso. Si tratta di un tirannosauro vissuto nell'ultima parte del Cretaceo, ma diverso dalla grande lucertola tirannica. Era molto più piccolo: circa 8-9 metri, e del peso di circa una tonnellata. Certo, non è un animale che farebbe piacere incontrare in un vicolo buio del Cretaceo, ma niente a che vedere con *Tyrannosaurus rex*. Ancora più stranamente, la testa era allungata, stretta e delicata, al contrario del cranio grande, muscoloso, con mandibole micidiali del suo cugino più famoso.

Lü mi aveva chiesto di aiutarlo a descrivere quel nuovo fossile perché avevo già studiato due tirannosauri con un muso particolarmente lungo scoperti qualche decina di anni prima e che avevano confuso molti scienziati. La prima di queste creature era parte di uno scheletro trovato in Mongolia da scienziati sovietici negli anni settanta. Lo avevano chiamato *Alioramus remotus* e avevano suggerito che si trattasse di un tirannosauro insolito, dal muso lungo. Ma durante la guerra fredda pochi paleontologi avevano potuto studiare l'esemplare, quindi era discutibile se fosse una strana nuova specie o solo un rappresentante molto giovane della specie *Tarbosaurus*. Qualche decina d'anni più tardi, nei primi anni 2000, un gruppo di ricercatori di Mongolia e Stati Uniti, diretto da Mark Norell dell'American Museum of Natural History di New York e relatore della mia tesi di PhD, ha scoperto uno scheletro di *Alioramus* in uno stato migliore e molto più completo. Il primo giorno di PhD Norell mi ha portato nel laboratorio del museo, mi ha mostrato lo scheletro e mi ha detto di iniziare a studiarlo. Nel 2009 abbiamo annunciato che si trattava di una nuova specie, *Alioramus altai*. Questo scheletro sembrava diverso da *Tarbosaurus*, ma visto che si trattava di un esemplare giovane, come ci aveva rivelato lo studio della struttura interna delle ossa, non potevamo escludere che i suoi tratti, apparentemente unici, fossero invece il risultato di una crescita non ancora completata.

A volte discussioni come queste vanno avanti per decenni, fino a quando non arrivano nuove scoperte a interrompere lo stallo. Nel nostro caso ci sono voluti solo pochi anni e la fortuna dell'o-

***Qianzhousaurus* dal lungo naso,** scoperto in un cantiere in Cina nel 2010, viveva nello stesso ecosistema di altri tirannosauri molto più grandi, probabilmente cacciando furtivamente piccole prede, sfruttando la sua velocità.

peratore dell'escavatore. Lo scheletro di *Qianzhousaurus* scoperto a Ganzhou ha lo stesso muso lungo, la struttura delicata e le piccole dimensioni di *Alioramus*, ma è di un esemplare molto più vecchio e maturo. È stato l'argomento decisivo: i tirannosauri dal muso lungo sono una specie distinta, vissuta in tutta l'Asia durante la fine del Cretaceo, probabilmente riempiendo una nicchia di predatore di secondo grado nella catena alimentare sotto *Tarbosaurus*.

Qianzhousaurus non fu il solo tirannosauro peso piuma a condividere il pianeta con i pesi massimi. Due mesi prima della nostra pubblicazione con la descrizione di *Qianzhousaurus*, i miei colleghi Anthony Fiorillo e Ronald Tykoski, entrambi del Perot Museum of Nature and Science di Dallas, hanno annunciato la scoperta al Circolo polare artico, in Alaska, di un tirannosauro del Cretaceo ancora più strano, chiamato *Nanuqsaurus*. Sono state trovate solo alcune ossa, molto simili a quelle corrispondenti nel *Tyrannosaurus rex*, ma con un'incredibile differenza: sono grandi la metà. La spiegazione ovvia è che le ossa appartengano a un tirannosauro nato da poco, ma sorprendentemente hanno suture spesse: le «cuciture» tra ossa adiacenti che si osservano solo negli animali adulti. Fiorillo e Tykoski hanno proposto un'idea che può sembrare stravagante, ma che ritengo molto plausibile: i tirannosauri artici si sono evoluti con dimensioni più piccole perché il loro habitat, scarso di risorse, non riusciva a sostenere specie più grandi. Molti animali moderni che vivono sulle isole hanno sperimentato una miniaturizzazione per la stessa ragione. Quindi, mentre *Tyrannosaurus rex* regnava a sud, un mini-tirannosauro perlustrava le lande selvagge del nord.

Al di là del loro controllo

Queste ultime aggiunte alla famiglia del tirannosauro hanno fatto luce sulla storia evolutiva di questo gruppo carismatico, ma domande fondamentali sono ancora senza risposta. Dove hanno avuto origine i tirannosauri? E sono emersi addirittura prima del Giurassico superiore, in un'epoca di cui abbiamo pochi fossili?

E ancora: i tirannosauri sono vissuti anche nei continenti meridionali tra Giurassico medio e Cretaceo medio? La gran parte dei fossili proviene dai continenti settentrionali, a eccezione di un osso enigmatico in Australia. Tuttavia sappiamo che molti gruppi di dinosauri erano diffusi ovunque nell'arco temporale che va dal Giurassico medio e al Cretaceo medio, quindi forse lo erano anche i tirannosauri. Altre incognite riguardano la biologia di questi animali. Che tipo di piume avevano i grandi tirannosauri, e quale scopo avevano? E a che cosa servivano i lunghi nasi di *Qianzhousaurus* e *Alioramus*?

Per quanto incompleta, la storia del tirannosauro rivela una verità più profonda sull'evoluzione, cioè che non è possibile prevederla. Quando i tirannosauri ebbero origine, più di 170 milioni di anni fa, nessuno avrebbe mai indovinato che questi gracili cacciatori sarebbero poi stati i dominatori di interi continenti. Non erano predestinati ad avere tutto questo successo. Dovettero invece affrontare più di 80 milioni di anni di vita nell'ombra, aspettando il momento opportuno, fino a quando cioè i cambiamenti ambientali non diedero loro l'occasione per diventare predatori dominanti. Poi un giorno, quando i tirannosauri erano all'apice del successo, un asteroide cadde dal cielo, e scomparvero. La loro forza e le loro dimensioni non poterono salvarli dalla devastazione degli incendi e dal collasso degli ecosistemi, e i mammiferi iniziarono la marcia verso la gloria. ■

PER APPROFONDIRE

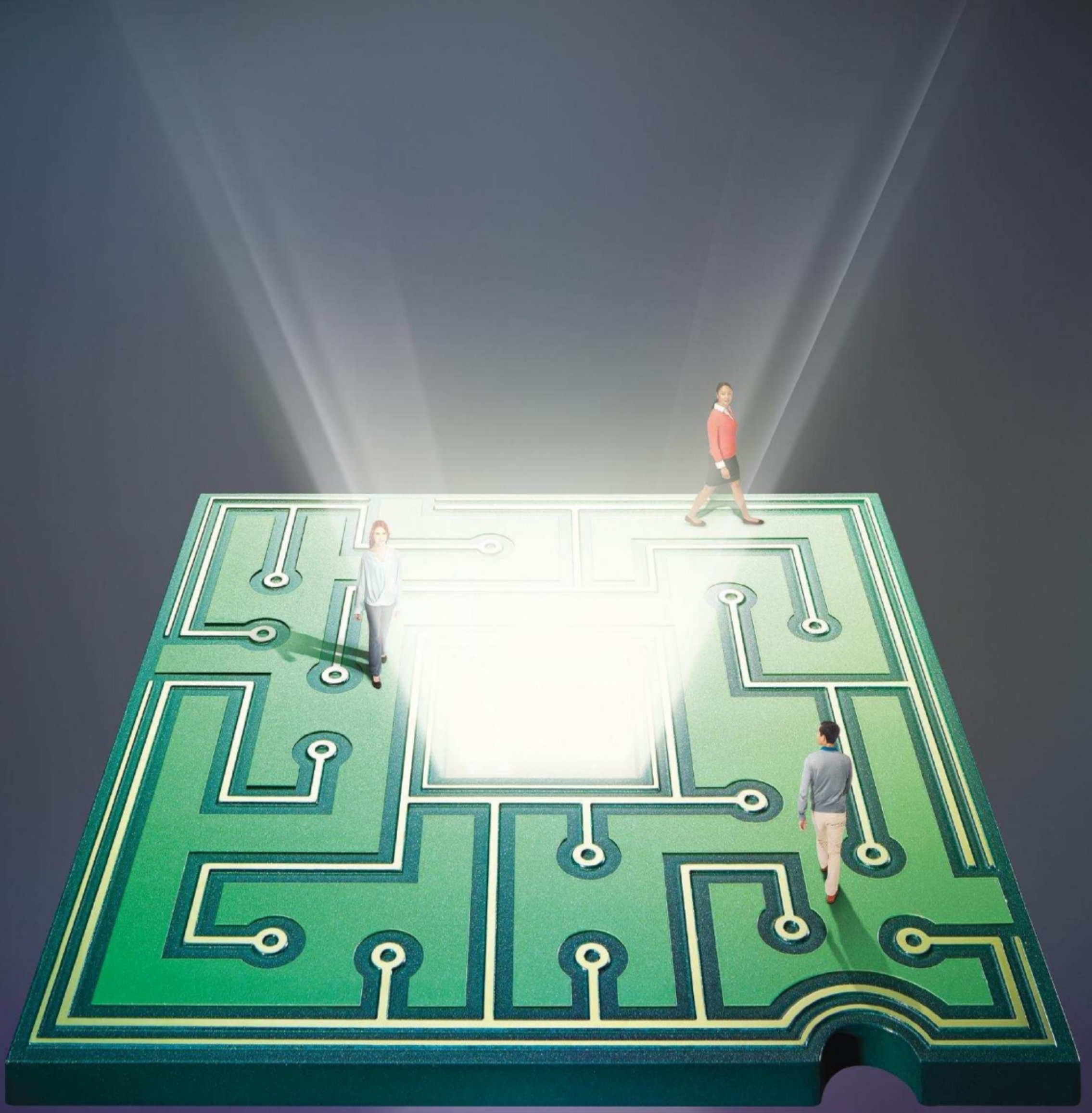
Tyrannosaur Paleobiology: New Research on Ancient Exemplar Organisms. Brusatte S.L. e altri, in «Science», Vol. 329, pp. 1481-1485, 17 settembre 2010.

A Diminutive New Tyrannosaur from the Top of the World. Fiorillo A.R. e Tykoski R.S., in «PLoS ONE», Vol. 9, n. 3, articolo n. e91287, 12 marzo 2014.

A New Clade of Asian Late Cretaceous Long-Snouted Tyrannosaurids. Lü J. e altri, in «Nature Communications», Vol. 5, articolo n. 37898, 7 maggio 2014.

Restituire alla vita il *Tyrannosaurus rex*. Erickson G.M., in «Le Scienze» n. 375, novembre 1999.

Cortesia Junchang, Istituto di geologia dell'Accademia cinese di scienze geologiche



INFORMATICA

Alla ricerca di una nuova macchina

L'epoca della legge di Moore è alla fine e i produttori di chip spendono miliardi per sviluppare nuove tecnologie informatiche

di John Pavlus

In una piccola sala riunioni senza finestre del principale centro di ricerca e sviluppo di Intel, l'azienda che domina la produzione di microprocessori e semiconduttori, Mark Bohr, direttore per l'architettura e l'integrazione di processo, sta spiegando senza scomporsi che la legge di Moore, come comunemente è concepita, è morta, e lo è già da un po'. La cosa può sembrare sorprendente, visto che la legge di Moore è letteralmente il suo lavoro, che consiste proprio nel capire come dimezzare entro la fine del decennio le dimensioni degli attuali transistor da 14 nanometri fabbricati da Intel. Ma dietro gli occhiali rotondi Bohr non batte ciglio: «Bisogna capire che l'epoca della tradizionale miniaturizzazione dei transistor, quando ogni volta si rifacevano con la stessa struttura di base e gli stessi materiali ma più piccoli, è finita già da una decina d'anni».

Nel 1965, Gordon Moore, allora direttore di ricerca e sviluppo di Fairchild Semiconductor, pubblicò un documento intitolato semplicemente *Cramming More Components onto Integrated Circuits*. Moore prevedeva che il numero di transistor che poteva essere inserito in un circuito integrato a costi ottimali sarebbe raddoppiato ogni anno. Dieci anni dopo avrebbe rivisto la sua previsione formulando quella che sarebbe diventata la legge di Moore: ogni due anni il numero di transistor su un chip per computer raddoppierà.

I circuiti integrati fanno funzionare i computer. ma è la legge di Moore che li fa evolvere. Dato che i transistor sono gli «atomi» della computazione elettronica – i minuscoli interruttori in cui sono codificati tutti gli 1 e gli 0 della memoria e delle unità logiche dei computer – se si raddoppia il numero di transistor che possono stare nello stesso spazio fisico, si raddoppia la quantità di calcoli possibili allo stesso costo. Il primo microprocessore per tutti gli usi di Intel, l'8080, quando fu realizzato, nel 1974, contribuì alla rivoluzione del personal computer. Era un *wafer* lungo cinque centimetri, come una barretta al cioccolato, e conteneva 4500 transistor. Al momento in cui scrivo, le unità centrali di elaborazione (CPU) per server di alte prestazioni di Intel, i più densi chip disponibili in commercio, contengono ciascuno 4,5 miliardi di transistor. Nella fabbrica Intel di Hillsboro, in Oregon, gli ultimi processi produttivi riescono a incidere nei wafer di silicio dettagli grandi 14 nanometri. Più sottili di un flagello batterico.

Illustrazioni fotografiche di Dan Saelinger

John Pavlus è uno scrittore e cineasta che si occupa principalmente di scienza, tecnologia e progettazione.

Questa crescita esponenziale della densità dei transistor ha trasformato le macchine di calcolo a valvole grandi come una stanza della metà del XX secolo nelle meraviglie miniaturizzate al silicio dell'inizio del XXI.

Ma anche la legge di Moore deve arrendersi alle leggi della fisica, ed entro un decennio non sarà più possibile mantenere questo ritmo di miniaturizzazione senza precedenti. Per questo motivo i produttori di chip, come Intel, IBM e Hewlett-Packard (HP) investono miliardi di dollari nelle attività di ricerca e sviluppo con cui prefigurare il mondo che verrà dopo la legge di Moore. Bisognerà abbandonare qualcuno degli assunti di base su quello che serve per far funzionare la nostra tecnologia. È proprio indispensabile che i chip dei computer siano una serie bidimensionale di fili incisi su una lastrina di silicio? IBM pensa di no: sta indagando le potenzialità dei nanotubi di carbonio e del grafene come substrati computazionali. E gli elettroni? È davvero impossibile farne a meno? IBM e HP scommettono anche sulla fotonica, che al posto delle tensioni elettriche usa impulsi di luce.

HP va ancora oltre: vuole estendere la stessa teoria fondamentale dell'elettronica. Ha infatti costruito un prototipo di computer, nome in codice «The Machine», che sfrutta le capacità di un anello mancante da tempo inseguito dagli esperti di elettronica: il memristore. Questo componente, previsto già da decenni per via matematica ma sviluppato solo da poco, combina le funzioni di immagazzinamento e di memoria ad accesso casuale (RAM) dei computer. La diffusa metafora della CPU come «cervello» del computer diventerebbe più precisa se il posto dei transistor fosse preso dai memristori, perché questi ultimi lavorano in modo più simile a quello dei neuroni: trasmettono e codificano l'informazione oltre a immagazzinarla. Combinare in questo modo la memoria volatile e quella permanente potrebbe incrementare l'efficienza a livelli spettacolari e allentare i vincoli imposti per mezzo secolo alla computazione dal cosiddetto collo di bottiglia di von Neumann.

Nessuna di queste tecnologie è ancora pronta a sostituire, e neppure a migliorare, i chip dei computer e dei telefoni che useremo nei prossimi anni. Ma entro la fine del decennio almeno una deve essere in grado di offrire progressi computazionali che abbiano la possibilità di dare il cambio all'inevitabile esaurimento della tradizionale ingegneria dei circuiti di silicio. La domanda è: quale tecnologia – e quando accadrà?

Oltre il silicio

L'idea che sta dietro la legge di Moore è semplice: dimezzare le dimensioni dei transistor significa raddoppiare le prestazioni di calcolo a parità di costo. Ma questa è solo una parte della storia. Il lavoro di Moore del 1965 può anche aver previsto che cosa sarebbe accaduto ogni due anni alla densità dei transistor, ma di certo non ha mai descritto in che modo da quell'incremento sarebbe emerso un raddoppiamento delle prestazioni. Ci sarebbero voluti altri nove anni perché Robert Dennard, uno scienziato che lavorava per IBM, pubblicasse una spiegazione che oggi è chiamata «legge di scala di Dennard». Questa legge descrive icome la densità di potenza dei MOSFET (acronimo che sta per *metal-oxide-semiconductor field-effect transistor*, cioè transistor a effetto di campo a metallo-ossido-semiconduttore, la tecnologia dominante del 1974) resti costante via via che diminuiscono le loro dimensioni fisiche. In altre parole, via via che i transistor diventano più piccoli, diminuiscono anche i valori di tensione e corrente elettrica richiesti per farli funzionare.

Per trent'anni, la legge di Dennard è stata il motore segreto della legge di Moore, garantendo la costante crescita delle prestazioni dei computer che hanno contribuito a creare nuove aziende, progettare nuovi prodotti e nuove cure per le malattie, guidare astronavi e democratizzare Internet. Poi ha smesso di essere valida. Quando nelle fabbriche si è cominciato a incidere nel silicio dettagli inferiori ai 65 nanometri (metà della lunghezza del virus HIV), i progettisti hanno visto che i transistor cominciavano a «perdere» elettroni a causa di effetti quanto-meccanici. I dispositivi erano diventati troppo piccoli per passare affidabilmente da «acceso» a «spento», e un computer che non distingue con certezza tra 0 e 1 ha un problema molto serio. Ma non è tutto: i ricercatori di IBM e Intel hanno scoperto il cosiddetto «muro» della frequenza, che limita la velocità con cui una CPU a base di silicio può eseguire operazioni logiche – circa quattro miliardi di volte al secondo – senza fondere per un eccesso di calore.

Tecnicamente, la legge di Moore poteva anche continuare a valere (e l'ha fatto): Intel ha continuato a impacchettare nei wafer di silicio transistor sempre più piccoli ogni due anni. Ma questo non si è tradotto semplicemente in computer più economici e veloci.

A fronte di questi problemi, a partire dal 2000 gli ingegneri dei circuiti integrati hanno sviluppato una serie di brillanti espedienti. Hanno aggirato il muro della frequenza introducendo le CPU multi-processore (un processore a 10 gigahertz si brucerebbe, ma non 4, 8 o 16 processori a 3 gigahertz che lavorano insieme). Hanno rafforzato i transistor che «perdono corrente» introducendo i *tri-gate* che controllano il flusso di corrente da tre lati invece che da uno solo. E hanno costruito sistemi in cui la CPU può affidare compiti particolarmente onerosi ad appositi collaboratori (lo schermo dell'iPhone 6, per esempio, è comandato da un proprio elaboratore grafico quadri-processore). Ma queste soluzioni transitorie non cambiano il fatto che la miniaturizzazione su silicio ha ormai davanti a sé meno di un decennio.

È per questo che alcuni produttori cercano il modo per abbandonare il silicio. L'anno scorso IBM ha annunciato un investimento di tre miliardi di dollari per spingere la ricerca su vari tipi di computazione post-silicio. Il principale oggetto di studio è il grafene: foglietti di atomi di carbonio spessi appena un atomo.

IN BREVE

I progressi dei computer dipendono dalla legge di Moore, l'idea cioè che il numero di transistor dei circuiti integrati raddoppi ogni anno. Ma le leggi della fisica permettono di ridurre le dimensioni dei transistor solo fino a un certo punto che ormai sta per essere raggiunto.

I produttori di chip investono miliardi nello sviluppo di nuove architetture computazionali e nuovi tipi di processori, alcuni basati su nuovi materiali. Idee da tempo studiate in laboratorio sono oggi perseguite con fervore commerciale.

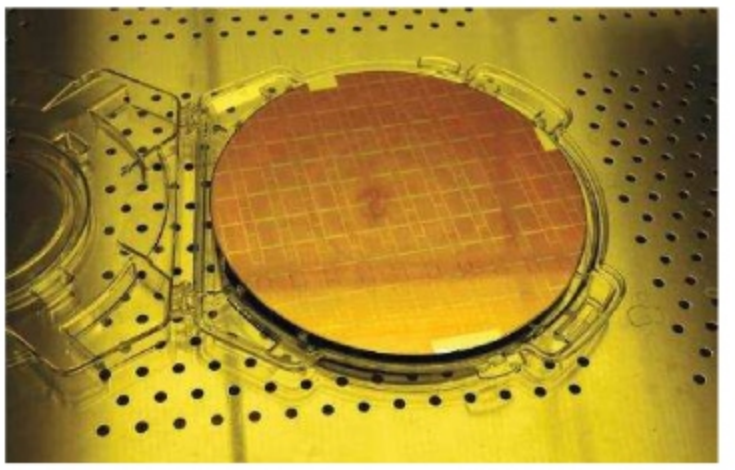
Non si può ancora dire quali saranno le tecnologie vincenti. La cosa più probabile è che si arrivi a tecnologie specializzate per i vari compiti un tempo assegnati a un singolo processore centrale: e al posto di una singola legge di Moore, avremo le leggi di Moore, al plurale.

Come il silicio, il grafene ha proprietà utili per l'elettronica che restano stabili in una vasta gamma di temperature. Inoltre, caratteristica ancora migliore, nel grafene gli elettroni viaggiano a velocità relativistiche. E la proprietà più importante è che si può miniaturizzare, almeno in laboratorio. Sono stati costruiti transistor a grafene che possono funzionare centinaia o anche migliaia di volte più rapidamente dei migliori dispositivi di silicio, a ragionevoli densità di potenza, anche al di sotto dei cinque nanometri, che è la soglia a cui nel silicio scattano gli effetti quantistici.

A differenza del silicio, però, il grafene non ha banda proibita: la differenza energetica tra gli orbitali in cui gli elettroni sono legati a un atomo e quella in cui sono liberi di muoversi e partecipare alla conduzione della corrente. I metalli, per esempio, sono privi di banda proibita: sono conduttori puri. Senza banda proibita, è molto difficile contenere il flusso di corrente che commuta un transistor da «spento» ad «acceso», il che vuol dire che in un dispositivo a grafene non può essere codificata una logica digitale in modo affidabile. «Siamo all'avanguardia in questo campo, ma i risultati con il grafene non sono incoraggianti», dice Supratik Guha, direttore delle scienze fisiche all'IBM Thomas J. Watson Research Center. «Per poter sostituire i materiali che già ci sono, il grafene deve essere poco costoso e mostrare anche qualche vantaggio esclusivo. Ha proprietà interessanti ma gli manca un'applicazione vincente, o almeno noi non siamo riusciti a trovarla, ».

I nanotubi di carbonio potrebbero essere più promettenti. Quando i foglietti di grafene si arrotolano in cilindri cavi, possono acquisire una modesta banda proibita che dà loro proprietà semiconduttive analoghe a quelle del silicio, aprendo la possibilità di usarli per i transistor digitali. «Siamo cautamente ottimisti», dice Guha. «Come dispositivi singoli, quando si riducono più o meno a dieci nanometri, i nanotubi di carbonio danno prestazioni migliori di qualunque altra cosa oggi disponibile. Se guardiamo alle nostre simulazioni di sistemi di elaborazione che usano questi nanotubi, ci aspettiamo un possibile miglioramento di cinque volte nelle prestazioni o nell'efficienza energetica rispetto al silicio».

Ma i nanotubi di carbonio sono strutture delicate. Se subiscono una variazione anche minima nel diametro o nella chiralità – l'angolo di «arrotolamento» – degli atomi di carbonio, la banda proibita può anche svanire, rendendoli inutili come elementi di circuiti digitali. Gli ingegneri, poi, devono riuscire a sistemare miliardi di nanotubi in file ordinate a intervalli di pochi nanometri, usando la stessa tecnologia delle fabbriche che oggi lavorano il silicio. «Per far diventare i nanotubi degni successori del silicio, dobbiamo risolvere tutto entro i prossimi due o tre anni», dice Guha.



Cortesia IBM (*wafer per microchip TrueNorth*)

Dharmendra Modha, fondatore del gruppo per la computazione cognitiva di IBM, vuole costruire chip per computer che siano «intelligenti» almeno quanto una mosca

Infrangere il muro della memoria

«Quali sono i metri quadri, anzi i centimetri, più cari del pianeta?» chiede Andrew Wheeler. «Eccoli qui», e indica un rettangolo disegnato con pennarello nero su una lavagna bianca, che rappresenta il substrato di un circuito integrato. Alto, asciutto, mascella quadrata, jeans a tubo e camicia di cotone a scacchi, Wheeler sembra più un cowboy a riposo che il vice direttore del settore ricerche di Hewlett-Packard. Spiega a che cosa serve la maggior parte dei transistor che occupano quella costosissima superficie. Non a fare i calcoli, dice. Si chiama memoria *cache*, o RAM statica (SRAM), e non fa altro che immagazzinare le istruzioni che sono richiamate più spesso. È l'equivalente in silicio della barra *Dock* dei computer Mac, dove si tengono le cose che si vogliono trovare senza perdere tempo a cercarle. Wheeler vorrebbe farla sparire. Ma sta correndo troppo, a breve termine si accontenterebbe di liberare i computer dal disco rigido e dalla memoria principale.

Secondo HP, questi tre elementi, che nel loro insieme costituiscono la gerarchia di memoria, con la SRAM in cima e il disco rigido in fondo, sono responsabili della maggior parte dei problemi con cui lottano gli ingegneri alle prese con la legge di Moore. Senza memorie veloci e di alta capacità in cui immagazzinare i bit e smistarli il più in fretta possibile, una CPU più veloce serve a poco.

Per infrangere il «muro» della memoria, il gruppo di Wheeler a Palo Alto, in California, progetta da tempo un nuovo genere di computer, The Machine, che fa a meno della gerarchia di memoria, unificandola in un solo livello. Ciascuno dei livelli della gerarchia tradizionale fa bene certe cose e male altre. La SRAM è veloce (e quindi può tenere il passo della CPU) ma poco capiente, e consuma molta energia. La memoria principale, o RAM dinamica (DRAM) è piuttosto rapida, densa e duratura, ed è un bene perché è il banco di lavoro che il computer usa per esegue le applicazioni attive.

Quando però si toglie la corrente, tutto quello che si trovava nella DRAM scompare, quindi per salvare i dati a lungo termine servono memorie «non volatili», come dischi rigidi e memorie flash, che offrono enormi capacità e bassi consumi energetici, ma sono di una lentezza glaciale (e le memorie flash si logorano con una certa rapidità). Dato che ognuno dei mezzi di memorizzazione presenta vantaggi e svantaggi incrociati, i computer li collegano insieme in modo che la CPU possa trasportare i dati su e giù per i vari livelli con la massima efficienza possibile. «È un capolavoro di ingegneria», dice Wheeler. «Ma anche uno spreco enorme». Una memoria universale capace di combinare la velocità della SRAM, la durata elevata della DRAM e la capacità e l'efficienza energetica delle memorie flash è da decenni il santo Graal di progettisti, ingegneri e programmatori, dice Wheeler.

The Machine sfrutta un componente elettronico detto memristore per rispondere agli ultimi due elementi della lista dei desideri della memoria universale. Previsto per via matematica nel 1971, il memristore, che sta per «resistore con memoria» perché la capacità di conduzione elettrica del dispositivo dipende dalla corrente che lo ha attraversato in precedenza, è stato a lungo considerato impossibile da realizzare. Nel 2008 HP ha annunciato di aver costruito un memristore funzionante; il programma che lo riguarda è stato inserito dall'azienda fra quelli prioritari, ed è il precursore di The Machine.

Un impulso di tensione in una cella di memoria a memristori può cambiarne lo stato di conduzione, creando la chiara distinzione tra spento e accesso necessaria a immagazzinare dati digitali. Come nella memoria flash, lo stato persiste quando si toglie la corrente. E come per la DRAM, le celle si possono leggere e scrivere velocemente e impacchettare ad alta densità.

Per ottenere prestazioni simili a quelle della SRAM, però, le celle a memristori dovrebbero essere poste vicino alla CPU sullo stesso pezzetto di silicio, una soluzione poco praticabile con la tecnologia attuale. Quindi HP intende usare i fotoni, trasmettere i bit come impulsi di luce laser invece che di corrente elettrica, per collegare la memoria a memristori ad alte prestazioni alla normale cache SRAM dei processori logici. Non è proprio il santo Graal della memoria universale – The Machine riduce la gerarchia di memoria da tre livelli a due – ma ci si avvicina.

Combinando la memoria RAM con quella permanente, un'architettura a memristori come The Machine potrebbe aumentare in modo massiccio le prestazioni dei computer senza dover contare sulla miniaturizzazione secondo la legge di Moore. La versione del super-computer Watson di IBM che ha battuto i concorrenti umani nel 2011 aveva bisogno di 16 terabyte di DRAM, ospitati in dieci *rack* di server Linux ad alto consumo elettrico. Lo stesso quantitativo di memoria flash non volatile potrebbe entrare in una scatola da scarpe e consumare la stessa quantità di elettricità di un portatile. Un'architettura di memoria che combinasse le due funzioni permetterebbe di tenere enormi insiemi di dati nella memoria attiva per elaborarli in tempo reale, invece di dividerli in sequenze più piccole, e a costi energetici assai più bassi.

Non abbiamo bisogno di macchine pensanti, autonome e simili a oracoli, come immaginava la fantascienza del XX secolo

Con l'aumento dei dispositivi connessi che si aggiungono alla cosiddetta «Internet delle cose», il problema di far passare innumerevoli petabyte di informazioni da e verso i centri di elaborazione dati per immagazzinarli ed elaborarli renderà irrilevante la legge di Moore, dice Wheeler. Ma se una memoria universale permettesse di dare capacità da super computer a oggetti più piccoli e meno affamati di energia, questi flussi di dati potrebbero essere immagazzinati e preprocessati dai dispositivi connessi. Forse gli elementi in silicio delle CPU non potranno scendere sotto i sette nanometri, o funzionare a più di quattro gigahertz, ma se crolla il muro della memoria, magari questo non avrà più importanza.

Oltre von Neumann

Anche se la mossa di HP per realizzare una memoria universale dovesse dare buoni risultati, i computer continuerebbero a restare ciò che sono dai tempi di ENIAC, il primo computer di uso generale, costruito nel 1946: calcolatrici molto veloci. La loro struttura generale, formalizzata dal matematico John von Neumann nel 1945, consiste in un'unità di elaborazione che esegue istruzioni, un banco di memoria in cui sono immagazzinate le istruzioni e i dati su cui eseguirle, e una connessione, o «bus», che le collega. L'architettura di von Neumann è ottimizzata per l'esecuzione di istruzioni simboliche in sequenza lineare: in altre parole, per i calcoli aritmetici. I primi «computer» erano esseri umani pagati per stare chiusi in una stanza a fare calcoli a mano, e non è un caso se i computer elettronici sono stati progettati per automatizzare questo processo.

Ma oggi abbiamo sempre più bisogno di far svolgere ai computer compiti che non è facile tradurre in istruzioni matematiche lineari, come riconoscere elementi rilevanti in ore e ore di registrazioni video, o guidare robot autonomi in luoghi instabili o pericolosi. Sono compiti che somigliano più alle capacità di esplorazione sensoriale e riconoscimento di corrispondenze dei cervelli biologici che ai calcolatori. Gli organismi devono estrarre informazioni utili a regolare le proprie azioni da un ambiente dinamico in tempo reale: se una mosca fosse costretta a far passare istruzioni discrete avanti e indietro, una a una, tra moduli cerebrali separati di elaborazione e memoria, non arriverebbe mai a completare i calcoli in tempo per non farsi schiacciare.

Dharmendra Modha, fondatore del gruppo per la computazione cognitiva di IBM, vuole costruire chip che siano «intelligenti» almeno quanto una mosca e altrettanto efficienti dal punto di vista energetico. La chiave, spiega, è stata l'eliminazione dell'architettura di calcolo di von Neumann. Modha ha puntato a imitare le colonne corticali del cervello dei mammiferi, che elaborano, trasmettono e immagazzinano l'informazione nella stessa struttura, senza strozzature dovute al bus di connessione. IBM di recente ha presentato il chip TrueNorth, che contiene più di cinque miliardi di transistor disposti in 4096 nuclei neurosinaptici, che modellano un milione di neuroni e 256 milioni di connessioni sinaptiche.

Questa disposizione porta a riconoscere configurazioni in tempo reale con un consumo energetico pari a quello di un puntatore laser. Modha indica uno schermo nella sala dimostrazioni del campus IBM di San José, in California. La scena che presenta sembra un video di sorveglianza da una telecamera che ha bisogno di un *reset*: si vedono auto, pedoni e biciclette bloccati in una rotonda, e uno dei pedoni è evidenziato da un contorno rosso. Dopo un minuto, auto, pedoni e biciclette scattano di colpo in un'altra posizione e si bloccano, come se il video avesse saltato un po' di fotogrammi.

«Come si vede, non è un'immagine fissa», spiega Modha. «È un video trasmesso dal campus di Stanford, e analizzato da un computer portatile che simula TrueNorth. Solo che rispetto al tempo reale è mille volte più lento.» Il vero TrueNorth che di solito elabora i dati video era usato in quel momento per una corso di formazione in un'aula accanto, quindi ciò che vedevo non era quello che può fare il chip. Se lo fosse stato, dice Modha, il video sarebbe andato a velocità normale e i riquadri rossi avrebbero seguito con continuità i pedoni che entravano e uscivano dall'inquadratura.

Come quelli basati sull'architettura di von Neumann, anche i dispositivi neurosinaptici come TrueNorth hanno i loro punti deboli. «Non farei girare un sistema operativo come iOS su questo chip», dice Modha. «Si potrebbe, ma sarebbe assai inefficiente, proprio come è inefficiente il portatile nell'elaborare l'immagine video in tempo reale.» L'obiettivo di IBM è sfruttare i punti di forza di entrambe le architetture, una per i precisi calcoli logici, l'altra sensibile alle corrispondenze, per ottenere un oggetto che definisce «sistema di computazione olistico».

In quest'ottica, la formulazione classica della legge di Moore continua ad avere la sua importanza. Modha ha già impacchettato 16 chip TrueNorth su una scheda, e per la fine dell'anno vuole sistemare otto schede in un dispositivo da 100 watt delle dimensioni di un tostapane di grande potenza computazionale: «Per simularla ci vorrebbe un intero centro di elaborazione dati».

Silicio e transistor, in altre parole, continuano a essere importanti, ma a contare di più è il modo in cui sono disposti. «È stata la

nostra intuizione: disponendo i mattoni in un altro modo, si ottiene un edificio con funzionalità diverse», dice Mohda. «Tanti credevano, e anche noi all'inizio, che per migliorare si dovesse cambiare la tecnologia. Ma in realtà è stato chiaro che mentre è possibile che nuove tecnologie ci facciano fare dei passi avanti, una nuova architettura intanto ci dà un miglioramento di ordini di grandezza nelle prestazioni e, in confronto, con facilità.»

Le leggi di Moore

Torniamo a Hillsboro. Michael C. Mayberry, direttore della ricerca sui componenti di Intel, sfata un altro mito sulle leggi di Moore: in realtà, non è mai stata una faccenda di transistor. «Contano solo costo e funzioni», dice. Che si parli di transistor per centimetro quadro di silicio, istruzioni di codice al secondo o prestazioni per watt di potenza assorbita, l'importante è fare sempre di più con sempre meno risorse. Non sorprende che Intel, sul suo sito web, dica che la legge di Moore non è una tendenza della tecnologia o una legge di natura ma piuttosto un modello di business.

«Se qualcuno mi chiede che cosa mi tiene sveglio la notte quando penso alla legge di Moore, io rispondo che dormo benissimo», dice Mayberry. «Quando è finita la legge di scala di Dennard, non ci siamo fermati. Abbiamo solo cambiato strada. Se guardiamo ai prossimi 15 anni, ci sono diversi cambiamenti in arrivo, ma non vuol dire che ci fermeremo.» La cosa su cui concordano tutti, Intel, IBM e HP, è che il futuro delle prestazioni computazionali, cioè il modo in cui il settore nel suo insieme saprà fornire prestazioni migliori a costi minori, smetterà di somigliare a una retta o una curva per diventare più simile alle molteplici ramificazioni dell'albero dell'evoluzione biologica.

Nel mondo dopo la legge di Moore, i computer non saranno delle divinità, ma si comporteranno come cani intelligenti

Il motivo è che la nostra visione dei computer sta evolvendo. Sembra che non vogliamo «macchine pensanti», autonome e simili a oracoli, come invece pensavano gli scrittori di fantascienza del tardo XX secolo. Quello che sta morendo, in realtà, non è la legge di Moore ma l'era della computazione generalista efficiente, descritta e resa possibile appunto dalla legge di Moore. «Mettere nella scatola tutto quello che si può», per dirlo con Mayberry.

A spingere l'incessante rincorsa a costi minori e funzioni maggiori sarà invece la cosiddetta computazione eterogenea; e la legge di Moore si ramificherà in una serie di svariate leggi di Moore. Aziende come IBM, Intel, HP e altre non integreranno più solo circuiti ma interi sistemi, in grado di gestire le sempre più varie richieste di carichi computazionali distinti. Bernard S. Meyerson, di IBM, dice che le persone comprano funzioni, non circuiti integrati; e anzi, sono sempre meno interessate a comprare computer in quanto tali. Vogliamo che i nostri strumenti facciano i loro calcoli, che «pensino» quanto basta per rendersi utili nei contesti in cui li usiamo. Invece di HAL, il computer super-intelligente di *2001: Odissea nello spazio*, abbiamo quindi Google Now sullo smartphone, che ci avverte quando è ora di prendere l'aereo.

Futurologi come Nick Bostrom (autore del libro *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*) presumono che l'intelligenza artificiale generalizzata decollerà e si fonderà in una sorta di essere digitale onnisciente e onnipotente. Ma la computazione eterogenea fa pensare che la capacità di calcolo abbia maggiori probabilità di diffondersi allargandosi a oggetti, sistemi e nicchie che in precedenza erano «stupidi», fino a dare a cose come automobili, *router* di rete, apparecchiature medico-diagnostiche e catene di vendita al dettaglio, la flessibilità semiautonoma e la competenza specifica degli animali domestici. In altre parole, nel mondo dopo la legge di Moore, i computer non diventeranno delle divinità, ma si comporteranno come cani particolarmente intelligenti.

E proprio come un alano fa cose diverse da un terrier, un processore grafico non è fatto per il lavoro di una CPU. Wheeler, di HP, propone come esempio una molteplice serie di nuclei di elaborazione dedicati da «agganciare» a un *pool* comune di memoria universale, a livello di petabyte: un ibrido di potenza di calcolo e memoria massiva che funzionerebbe in modo simile a quello in cui acceleratori grafici e memorie cache oggi sono al servizio delle risorse di elaborazione centralizzate. Modha di IBM ipotizza dispositivi grandi come una pallina da golf fatti di chip cognitivi uniti a telecamere a basso costo da lanciare su siti di disastri naturali per individuare schemi specifici, come la presenza di bambini feriti.

Leon Chua, informatico dell'Università della California a Berkeley, che per primo teorizzò i memristori nel 1971, dice che lo sforzo di comprimere la gerarchia della memoria di HP e la ricerca di IBM mirata a immaginare una nuova CPU sono risposte complementari a quella che chiama la «grande strozzatura» dei dati. «È incredibile che i computer che abbiamo usato per fare di tutto negli ultimi quarant'anni siano ancora basati sulla stessa idea», l'architettura di von Neumann, dice. La transizione sui due fronti alla computazione eterogenea è «inevitabile», afferma, e «creerà un'economia nuova», non da ultimo perché la computazione post-legge di Moore e post-architettura di von Neumann richiederà metodi di programmazione e progettazione di sistemi nuovi. La parte di informatica, ingegneria e progettazione dei circuiti che si occupa di mascherare i limiti intrinseci imposti alla computazione dalla gerarchia di memoria e dell'architettura di von Neumann è così grande, dice Chua, che quando questi limiti salteranno «i programmatori dovranno tornare sui banchi di scuola».

Quello che Chua, Modha e Wheeler non citano in queste visioni del futuro prossimo sono i transistor, o i prevedibili miglioramenti delle loro prestazioni che ormai ci aspettiamo. Per Meyerson, di IBM, quella che la legge di Moore ha descritto con precisione per mezzo secolo – una relazione semplice e chiara tra crescita della densità dei transistor e diminuzione del costo a parità di funzioni – potrebbe rivelarsi solo una coincidenza transitoria. «Se prendiamo gli ultimi quarant'anni nel campo dei semiconduttori, vediamo un cuore che batte a ritmo costante», dice Meyerson. «Il progresso non si fermerà. Ma ora nella tecnologia c'è un'aritmia.» ■

PER APPROFONDIRE

Cramming More Components onto Integrated Circuits. Moore G.E., in «Electronics», Vol. 38, n. 8, pp. 114–117, 19 aprile 1965.

Memristor: The Missing Circuit Element. Chua L. O., in «IEEE Transactions on Circuit Theory», Vol. 18, n. 5, pp. 507–519, settembre 1971.

Design of Ion-Implanted MOSFET's with Very Small Physical Dimensions. Dennard R.H. e altri, in «IEEE Journal of Solid-State Circuits», Vol. 9, n. 5, pp. 256–268, ottobre 1974.

Carbon Nanotubes: The Route toward Applications. Baughman R.H. e altri, in «Science», Vol. 297, pp. 787–792, 2 agosto 2002.

Microchip dei prossimi 20 anni. Autori vari, in «Le Scienze», n. 499, aprile 2010.

Un po' più di memoria. Di Ventra M. e Pershin Y.V., in «Le Scienze», n. 560, aprile 2015.

AGRICOLTURA

La crisi dell'olivo

Parassiti e malattie, favoriti da incuria e disinformazione, sono i fattori determinanti della crisi produttiva di olio in Italia, un problema che investe equilibri economici e ragioni culturali

di Anna Rita Longo e Lisa Signorile

Tempi difficili per gli olivicoltori italiani, che sono stati testimoni, nella stagione appena trascorsa, di un crollo di produzione così netto da non poter passare inosservato. I dati a nostra disposizione dipingono un quadro preoccupante, a tratti drammatico, che riguarda l'intero territorio italiano, da nord a sud, con poche «isole felici» per il momento non ancora toccate dal problema. I numeri parlano di un calo della produzione di olio di oliva del 35 per cento a livello nazionale, con picchi che raggiungono il 45 per cento.

IN BREVE

Nel 2014 in Italia la produzione di olio di oliva è stata caratterizzata da una notevole flessione. Questa crisi colpisce in modo particolare perché riguarda una pianta simbolo del Mediterraneo e anche le radici culturali e identitarie del territorio italiano, in cui la coltura dell'olivo occupa un posto di primo piano.

Il caso degli olivi salentini infettati dal batterio *Xylella fastidiosa* ha ricevuto attenzione mediatica, ma non è isolato, ed è anzi indicativo della situazione del settore. La crisi dell'olio è stata causata anche da altri patogeni, condizioni climatiche e una gestione agronomica e fitosanitaria non sempre adeguata.

Se non si interverrà per affrontare la crisi strutturale dell'olivicoltura, verrà messo a rischio il fatturato di tre miliardi di euro del settore, oltre a un paesaggio di riconosciuto valore culturale e ambientale.

Max Frigione/ANSA/Corbis

Il marchio del batterio. Un albero di olivo in Puglia infettato dal batterio *Xylella fastidiosa* e per questo marchiato con una croce rossa. Iniziata nella zona di Gallipoli, in provincia di Lecce, oggi l'infezione da *X. fastidiosa* riguarda tutto il Salento.

Quelle appena citate sono le stime più attendibili disponibili al momento, e sono state elaborate dall'Istituto di servizi per il mercato agricolo alimentare (ISMEA) in collaborazione con l'Associazione italiana frantoiani oleari (AIFO), il Consorzio nazionale degli olivicoltori (CNO), l'Unione nazionale tra le associazioni di produttori di olive (UNAPROL) e l'Organizzazione nazionale produttori olivicoli (UNASCO).

Nel complesso, dalla produzione di 463.701 tonnellate di olio del 2013 si è passati alle 302.470 stimate per il 2014. Tra le regioni con maggior vocazione all'olivicoltura, l'andamento negativo colpisce Puglia e Calabria che registrano un –35 per cento; Sicilia, con –22 per cento; Campania, con –40 per cento; Basilicata, Toscana e Umbria con –45 per cento; Lazio con –37 per cento. Un dato positivo si registra invece in Sardegna (+30 per cento), che, come il Piemonte (+40 per cento) non risente al momento della crisi nazionale (*si veda il grafico nella pagina a fronte*).

Un'ulteriore verifica dei dati eseguita presso l'ISMEA al momento di andare in stampa ci ha permesso di raccogliere stime aggiornate che peggiorano ulteriormente il quadro: le tonnellate di olio d'oliva da pressione prodotte nel 2014 sarebbero poco più di 220.000, che corrispondono addirittura a un –53 per cento rispetto al 2013. Il brusco calo di produzione ha avuto ripercussioni immediate sulla vita quotidiana dei consumatori: minore disponibilità di olio sul mercato, prezzi che lievitano, aumento del rischio frodi.

La crisi della produzione olivicolo-olearia colpisce in modo particolare perché riguarda una pianta simbolo dell'ambiente mediterraneo, investendo le radici culturali e identitarie del territorio italiano, in cui la coltura dell'olivo occupa un posto di primo piano. Salvatore Camposeo, docente di arboricoltura generale e coltivazioni arboree all'Università «Aldo Moro» di Bari e coordinatore nazionale del gruppo di lavoro «Olivo e Olio» della Società di orto-floro-frutticoltura italiana (SOI) ne sottolinea l'importanza: «L'olivo rappresenta storicamente la specie arborea da frutto più coltivata in Italia, occupando una superficie di oltre un milione e 100.000 ettari; l'80 per cento è concentrato nel sud: la sola Puglia ne accoglie più di un terzo. L'Italia vanta 900.000 aziende agricole e 4600 frantoi».

L'olivo e l'ambiente

L'olivicoltura è una pratica antichissima, iniziata nel bacino del Mediterraneo orientale 6000 anni fa, per il consumo allo stato fresco dei frutti, mentre l'estrazione dell'olio è una pratica di poco successiva. Secondo un recente studio che pone fine a un antico dibattito grazie alla genetica, almeno tre diversi olivi selvatici (oleastri) della specie *Olea europaea* hanno contribuito al genoma delle attuali cultivar, cioè le varietà: via via che la pratica della coltivazione dell'olivo si espandeva da est verso ovest nel Mediterraneo, il polline degli oleastri veniva incorporato nelle varietà selezionate. I principali contributori sono una varietà del Vicino Oriente (Siria), una dell'Egeo e una africana dello Stretto di Gibilterra.

I dati genetici evidenziano che la domesticazione è avvenuta a est, probabilmente al confine tra Siria e Turchia, tramite selezione artificiale e continui incroci con la varietà selvatica. Con l'esportazione a occidente, l'olivo ha via via incorporato contributi genetici da altre varietà selvatiche, generando la variabilità necessaria a ottenere le attuali 1500 cultivar esistenti, spesso autosterili (le piante non sono cioè in grado di autoimpollinarsi o di fecondare individui della medesima varietà), di cui se ne contano almeno 500 in Italia, grazie anche alla sua posizione geografica, al crocevia tra i tre principali contributi genetici.

Anna Rita Longo è insegnante e dottoressa di ricerca. Membro del Comitato italiano per il controllo delle affermazioni sulle pseudoscienze (CICAP) e dell'associazione professionale di giornalismo scientifico SWIM-Science Writers in Italy, collabora a riviste e podcast a carattere scientifico e culturale.

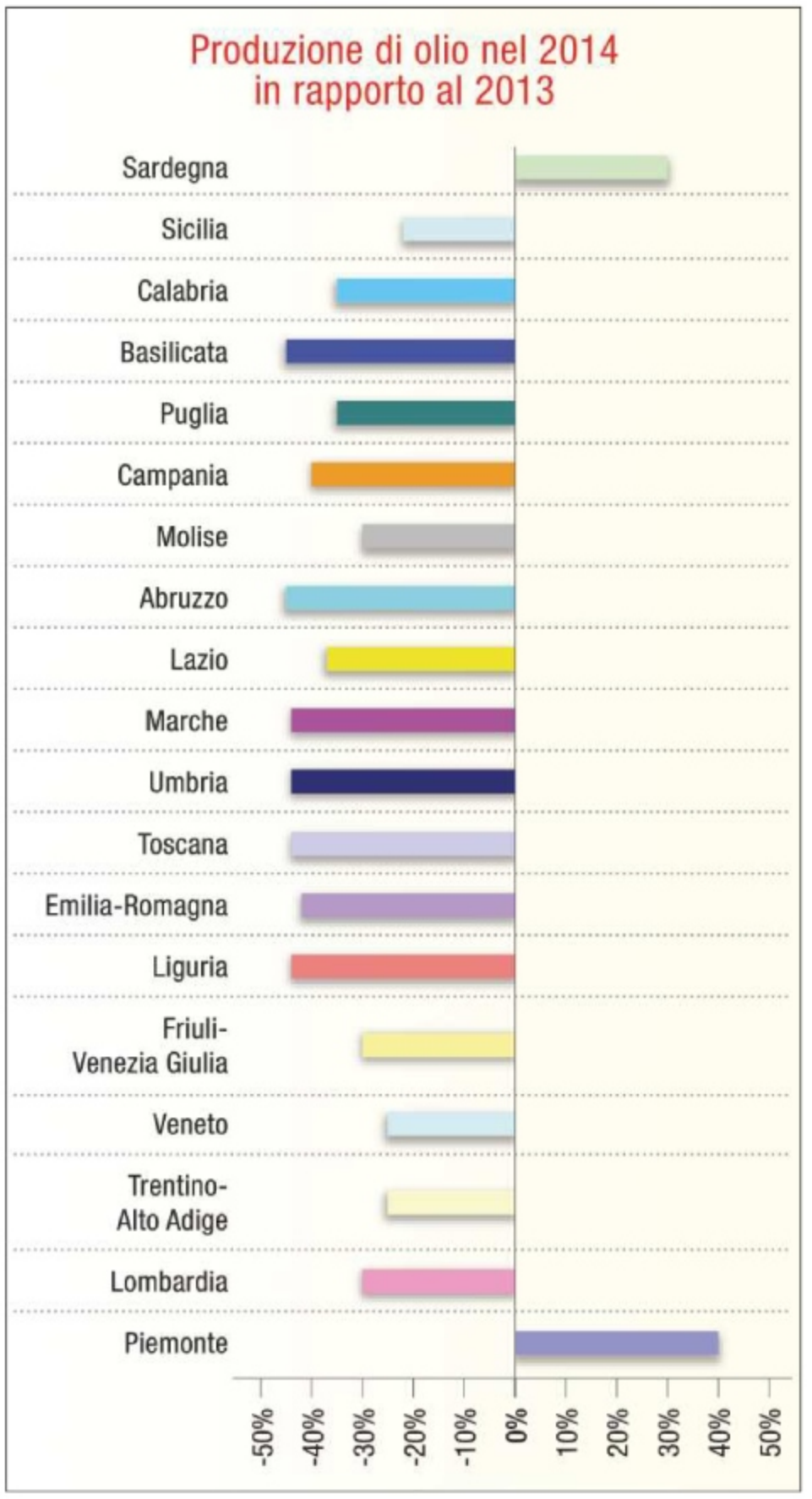
Lisa Signorile, laureata in biologia, vive nel Regno Unito, dove ha conseguito un master in Forestry Protection e un Ph.D. in genetica delle popolazioni all'Imperial College di Londra. È autrice di vari libri di zoologia ed evoluzione.

Da 6000 anni. La domesticazione dell'olivo è avvenuta tra Siria e Turchia, e la sua coltivazione è iniziata 6000 anni fa nel Mediterraneo.

L'olivo selvatico è un arbusto, non un albero, come invece comunemente si pensa, tipico della macchia mediterranea, frugale, longevo, resistente all'aridità e poco esigente in termini di suolo, al punto che può vivere anche in aree predesertiche. Questa sua resistenza e il valore alimentare dei frutti hanno fatto sì che attualmente in molte aree del mediterraneo *O. europaea* sia tutto quello che rimane dell'antica macchia mediterranea: la monocoltura imposta dall'uomo ha sostituito la biodiversità delle foreste più o meno xerofile, ovvero adattate agli ambienti aridi, dell'ecosistema originario. Se da un lato la coltivazione di questa pianta ha favorito le condizioni per il fiorire di antiche civiltà e ha costituito un bene commerciale inestimabile per millenni, dall'altro ha avuto un costo elevato in termini ecologici. Il taglio delle foreste e una lavorazione del terreno chiamata «spietramento» effettuata per consentire gli impianti hanno contribuito a erodere e mineralizzare il suolo, arrivando in molti casi a creare zone predesertiche, come il Salento, dove il caldo e la mancanza di acqua hanno fatto il resto.

Mancanza di biodiversità, di un normale ciclo ecologico del

Atlantide Phototravel/Corbis



suolo, cambiamenti climatici e pressioni ambientali – come l'arrivo di specie alloctone conseguenti ai movimenti antropici – creano stress alle piante, che diventano più suscettibili all'attacco dei loro nemici naturali, e a maggior ragione a quello di specie con cui non si sono coevolute. Il riscaldamento globale, in particolare, se da un lato può spostare l'areale dell'olivo verso maggiori altitudini e latitudini, dall'altro crea l'ambiente ideale per parassiti che probabilmente hanno perso molti nemici naturali che ne contenevano le popolazioni.

Parassiti e malattie

È il caso, per esempio, della mosca olearia (*Bactrocera oleae*), un parassita coevolutosi con l'olivo presente nell'intero *range* di diffusione della pianta, responsabile, insieme a una scarsa fioritura e alle condizioni climatiche, del calo della produzione olivicola italiana nell'annata 2014. La femmina adulta di questo insetto depone singole uova all'interno dell'oliva in maturazione in estate, e la larva si sviluppa scavando gallerie all'interno del frutto. Questo può causare marcescenza, la caduta anticipata dei frutti, nonché l'ingresso di muffe e fenomeni ossidativi che rendono l'olio inadatto al consumo perché troppo acido, rancido e con un sapore di muffa. Ci sono diversi fattori predisponenti che favoriscono l'attacco da parte della mosca, di natura ecologica e agronomica. Il clima, in particolare, è un fattore chiave: la mosca è molto sensibile alle alte temperature e quando la temperatura supera i 35 gradi per alcune ore al giorno uova e larve hanno una mortalità anche del 100 per cento; temperature tra 20 e 30 gradi con un clima umido sono invece ottimali. Secondo uno studio predittivo pubblicato nel 2014 sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», se la temperatura media aumentasse di 1,8 gradi, confrontando il decennio 1961-1970 con il decennio 2041-2050, la conseguenza sarebbe un calo netto nella produzione di olio del 21 per cento in Italia, del 18 per cento in Spagna e del 23 per cento in Grecia.

L'impatto peggiore in Italia è previsto proprio in Toscana, Lazio e Appennino meridionale, e i dati di produzione di quest'anno sembrano confermare questa predizione. Se non ci si fa prendere alla sprovvista, tuttavia, la mosca olearia si controlla bene. Per esempio ci sono cultivar meno suscettibili e numerosi metodi di lotta sia chimica che integrata, che prevedono tanto l'uso di insetticidi quanto quello di trappole e dispositivi che attraggono l'insetto (metodi detti tecnicamente *attract and kill*), o anche di prodotti consentiti in olivicoltura biologica. Il punto cruciale è che i trattamenti vanno ripetuti in modo ponderato, se non ci si vuole trovare nella situazione dell'annata critica del 2014.

Purtroppo, secondo Ruggero Petacchi, ricercatore dell'Istituto di scienze della vita della Scuola superiore Sant'Anna di Pisa, non c'è una ricetta che vale per tutti: il numero dei trattamenti chimici necessari è molto variabile anche all'interno di una singola regione. Per fronteggiare questi problemi in Liguria e Toscana, spiega Petacchi, «le Regioni hanno programmi di monitoraggio e informazione validi e abbastanza capillari, e l'olivicoltore può ricevere settimanalmente via Internet o SMS informazioni sull'andamento dell'infestazione di mosca dell'olivo e consigli su come comportarsi. Diverso è invece il discorso per l'olivicoltura biologica, che presenta maggiori problemi di controllo della mosca, soprattutto nelle zone ad alto rischio di infestazione».

Ci sono molti altri insetti patogeni dell'olivo. Le larve di tignola dell'olivo (*Prays oleae*) attaccano foglie, fiori e frutti. Almeno 16 tipi di cocciniglia parassitano gli oliveti italiani, di cui la più importante è la cocciniglia mezzo grano di pepe, *Saissetia oleae*. Sugli essudati zuccherini prodotti da questi emitteri si possono sviluppare le fumaggini, funghi saprofiti – che cioè si nutrono di sostanze organiche in decomposizione – che indirettamente indeboliscono la pianta. Da non dimenticare, tra gli insetti, il rodilegno giallo, *Zeuzera pyrina*, falena parassita del legno non specifica dell'olivo, ma comunque dannosa perché le gallerie scavate dalle larve permettono la penetrazione di diversi funghi del genere *Phaeoacremonium*, associati con la malattia chiamata «complesso del disseccamento rapido dell'olivo» (CoDiRO).

Tra i funghi dell'olivo che riducono raccolto e produzione di olio ci sono anche *Colletotrichum gloeosporioides,* che causa la cosiddetta «lebbra dell'olivo», ovvero defoliazioni e disseccamenti anche estesi, con perdita dei frutti, che ha colpito duramente tra il 2010 e il 2011, e *Spilocaea oleaginea*, responsabile del cosiddetto «occhio di pavone», che prende il nome dalle tipiche lesioni tondeggianti che appaiono sulle foglie. La «rogna dell'olivo» è invece causata dal batterio *Pseudomonas savastanoi*, che provoca tumori nei rami giovani ed è favorita da pratiche agronomiche scorrette.

Quasi tutti questi parassiti si sono coevoluti con l'olivo nel Vec-

Danilo Sossi, su indicazione degli autori

chio Mondo, adattandosi lentamente alle condizioni estreme in cui questa pianta frugale sopravvive. L'uomo, a sua volta, ha imparato a coesistere con questi patogeni, rassegnandosi a perdere parte del raccolto o sperimentando nei secoli sempre nuovi rimedi. In molti casi, però, soprattutto nel continente americano e in Australia, i parassiti dell'olivo sono arrivati insieme ai loro ospiti, entrando a far parte del grande numero di specie alloctone che infestano i due continenti, in alcuni casi estendendo il range d'ospite a specie vulnerabili. Un esempio da manuale è la cocciniglia mezzo grano di pepe: originaria del Sudafrica e giunta diversi secoli fa in Europa, dove infesta l'olivo, oggi in America colpisce anche avocado e guava.

Il caso *Xylella fastidiosa*

Un vero colpo di scena c'è stato in Europa con *Xylella fastidiosa*, sottospecie *pauca*, ceppo CoDiRO, un batterio che potrebbe essere giunto accidentalmente nel Salento dal Costa Rica grazie a importazioni vivaistiche di piante asintomatiche di caffè (ipotesi che appare più verosimile di quella che implica l'oleandro), ed è riuscito a colonizzare *Olea europea*, ospite nuovo per questa sottospecie del batterio, e a diffondersi.

È una vecchia storia che si ripete sempre più spesso in tutto il mondo: le attività commerciali spostano specie, che si diffondono con effetti devastanti sugli ecosistemi del pianeta. In precedenza abbiamo assistito alla scomparsa quasi totale degli olmi a causa di un fungo, e ora sono in corso morie di frassini e querce, sempre a causa di microrganismi. Si tratta di stragi silenziose e ignote ai più. Ma questa volta la specie alloctona ha colpito l'olivo, una delle piante simbolo del bacino del Mediterraneo, e una delle più importanti dal punto di vista economico.

La data ufficiale in cui è stata accertata l'eziologia della malattia che colpiva gli olivi del Salento nella zona di Gallipoli è ottobre 2013, ma quando ci si è accorti del problema e se ne è identificata la causa era ormai troppo tardi. L'infezione, divisa in diversi focolai, in soli due anni si è espansa all'intera penisola salentina, veicolata dall'insetto *Philaenus spumarius*, comunemente conosciuto come sputacchina. Trattandosi di una nuova malattia, le piante non hanno ancora sviluppato risposte adeguate e soccombono all'infezione, né sono note cure, al momento.

Questione di buone pratiche

Molteplici prove fanno ipotizzare che questa malattia colpisca prevalentemente piante trascurate o malate. A quanto riferisce Luigi Catalano in un articolo su «L'Informatore Agrario», negli ultimi anni, complici le piccole dimensioni delle aziende e l'età elevata degli olivicoltori «si è assistito a una lenta e progressiva diminuzione delle cure colturali agli oliveti, ridotti per la maggior parte a impianti semiabbandonati». Una delle cause di questo abbandono, secondo Catalano, è l'attuazione del regolamento CE 864/2004, che prevede sussidi alla produzione di olio d'oliva.

L'Italia ha optato per il «disaccoppiamento totale», ovvero ha previsto che questi aiuti non venissero attribuiti per i livelli produttivi raggiunti. L'assenza di potature – necessarie a questi arbusti per avere un portamento arboreo, più produttivo, e per eliminare alcune patologie non sistemiche – di irrigazioni adeguate, concimazioni e trattamenti anticrittogamici sarebbero dunque il fattore predisponente a questa malattia, alla lebbra dell'olivo, all'attacco della mosca olearia e a molte altre patologie.

Che fare, allora? Al momento si ritiene che *X. fastidiosa* non sia più eliminabile, e che l'unica azione possibile sia di contenimento e controllo, per cui sono state individuate nel Salento zone delimitate che costituiscono una barriera all'espansione del pa-

Fonte dati: www.ulivi.sit.puglia.it, consultato il 27 maggio 2015; Danilo Sossi (*illustrazione*)

Vettore inelegante. Esemplare di *Philaenus spumarius*, insetto conosciuto anche con il meno elegante nome di «sputacchina», vettore dell'infezione da *Xylella fastidiosa* che ha colpito il Salento.

ANSA

togeno, mentre contemporaneamente si provvederà a distruggere le piante contagiate nella zona infetta. Sfortunatamente, come è già accaduto per altri piani di contenimento in Italia, la soluzione drastica suscita malcontenti.

Le misure comunitarie, tra polemiche e conflitti

La gestione dell'emergenza *X. fastidiosa* nel Salento è un caso emblematico per la difficoltà di conciliare interessi in contrasto: sui due opposti schieramenti vi sono agricoltori ed Unione Europea, che sollecita l'applicazione delle norme di contenimento per evitare l'espansione del contagio. Le direttive europee non sono state recepite con favore, come osserva Donato Rossi, presidente della Federazione nazionale olivicola di Confagricoltura: «Nonostante l'attenzione posta dall'Unione alla sostenibilità delle procedure fitosanitarie, tra gli olivicoltori salentini si è registrata una forma di scetticismo verso le misure di contenimento comunitarie, in parte per una normale reazione di ostilità verso tutto ciò che è imposto dall'alto, ma anche per motivazioni legate a gestione agronomica, specificità del territorio e relative tradizioni colturali, che rispondono a caratteristiche peculiari del luogo, che i produttori locali ben conoscono. Sarebbe auspicabile l'instaurarsi di un dialogo maggiore e una comunicazione più efficace tra Unione Europea e olivicoltori salentini, anche per evitare di prestare il fianco a chi cerca di strumentalizzare il problema».

Il cortocircuito comunicativo ha avuto ripercussioni non trascurabili sulla gestione dell'emergenza e sull'ordine pubblico.

«Ci incateniamo ai nostri olivi! Ci stanno prendendo in giro: *Xylella*, da queste parti, c'è sempre stata e mio padre la curava con la poltiglia bordolese [un composto di solfato di rame e grassello di calce tradizionalmente in uso come anticrittogamico, N.d.R.]. Ora, chissà per quali interessi nascosti, vogliono farci credere che sia un problema nuovo, per avvelenare i nostri terreni ed estirpare i nostri alberi!»: è lo sfogo di un agricoltore a un convegno a cui una di noi (Longo) ha partecipato. E sono in tanti, tra i piccoli proprietari terrieri e gli agricoltori salentini, a pensarla così. Il malcontento è tangibile e diffuso, ed è il terreno ideale per la disinformazione. Difficile convincere chi ha gestito da sempre fitopatie a prima vista simili, ma di origine per esempio micotica, che questa volta il problema è diverso e più grave. La diffidenza verso gli scienziati cresce con il consenso guadagnato da ipotesi complottiste e antiscientifiche, caratterizzate da uno *storytelling* semplice e convincente.

Mentre infuria la battaglia tra agricoltori e Unione Europea, la situazione economica è messa in ulteriore pericolo da manovre restrittive, probabilmente sproporzionate, attuate da altri Stati. Ad aprile la Francia ha annunciato il blocco dell'importazione di 102 specie vegetali di provenienza pugliese, estendendo il divieto a tutte quelle considerate a rischio. Nonostante le proteste delle aziende, l'Unione Europea ha esaminato il caso dichiarando legittimo il provvedimento francese, che potrebbe stimolare l'adozione di misure simili da parte degli altri paesi europei, con conseguente crescita di conflitti. Ironia della sorte, pochi giorni dopo l'embargo dei prodotti pugliesi, le cronache riportavano la notizia della scoperta in territorio francese di *X. fastidiosa* in una pianta di caffè probabilmente proveniente dall'America centrale, via Paesi Bassi.

Nella situazione pugliese, come nei problemi emersi nel centronord, si può ravvisare un monito a mettersi alle spalle i problemi di gestione che caratterizzano l'olivicoltura italiana. La situazione che si prospetta, in caso contrario, appare tutt'altro che rosea. «La gestione agronomica e fitosanitaria dell'olivo – sottolinea Camposeo – richiede specifiche conoscenze tecniche, che ancora stentano a diffondersi presso i produttori, ma anche un impegno economico che molti non possono permettersi. Globalizzazione del sistema fitosanitario europeo, particolari andamenti climatici e crisi strutturale dell'olivicoltura italiana costituiscono le condizioni necessarie e sufficienti per scatenare continue emergenze fitosanitarie, che rappresentano, purtroppo molto efficacemente, lo stato di salute del più importante pilastro dell'agroalimentare nazionale. Il pericolo di truffe e contraffazioni in queste situazioni è elevato, come già accade. Non affrontare la questione significherebbe dire addio all'industria olearia italiana, che oggi vale un fatturato vicino ai 3 miliardi di euro, senza contare indotto e relativa occupazione. Ma comporterebbe anche la rinuncia a una fetta consistente e importante del paesaggio rurale italiano, cui è riconosciuto un elevato valore culturale e ambientale». Un prezzo sicuramente troppo alto, che nessuno è disposto a pagare. ■

PER APPROFONDIRE

High Summer Temperatures Affect the Survival and Reproduction of Olive Fruit Fly (Diptera: Tephritidae). Wang X.G., Johnson M.W., Daane K.M. e Nadel H., in «Environmental entomology», Vol. 38, n. 5, pp. 1496-1504, 2009.

The Complex History of the Olive Tree: from Late Quaternary Diversification of Mediterranean Lineages to Primary Domestication in the Northern Levant. Besnard G., Savolainen V. e altri in «Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences», Vol. 280, n. 1756, 7 aprile 2013. Disponibile on line: **http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/280/1756/20122833.**

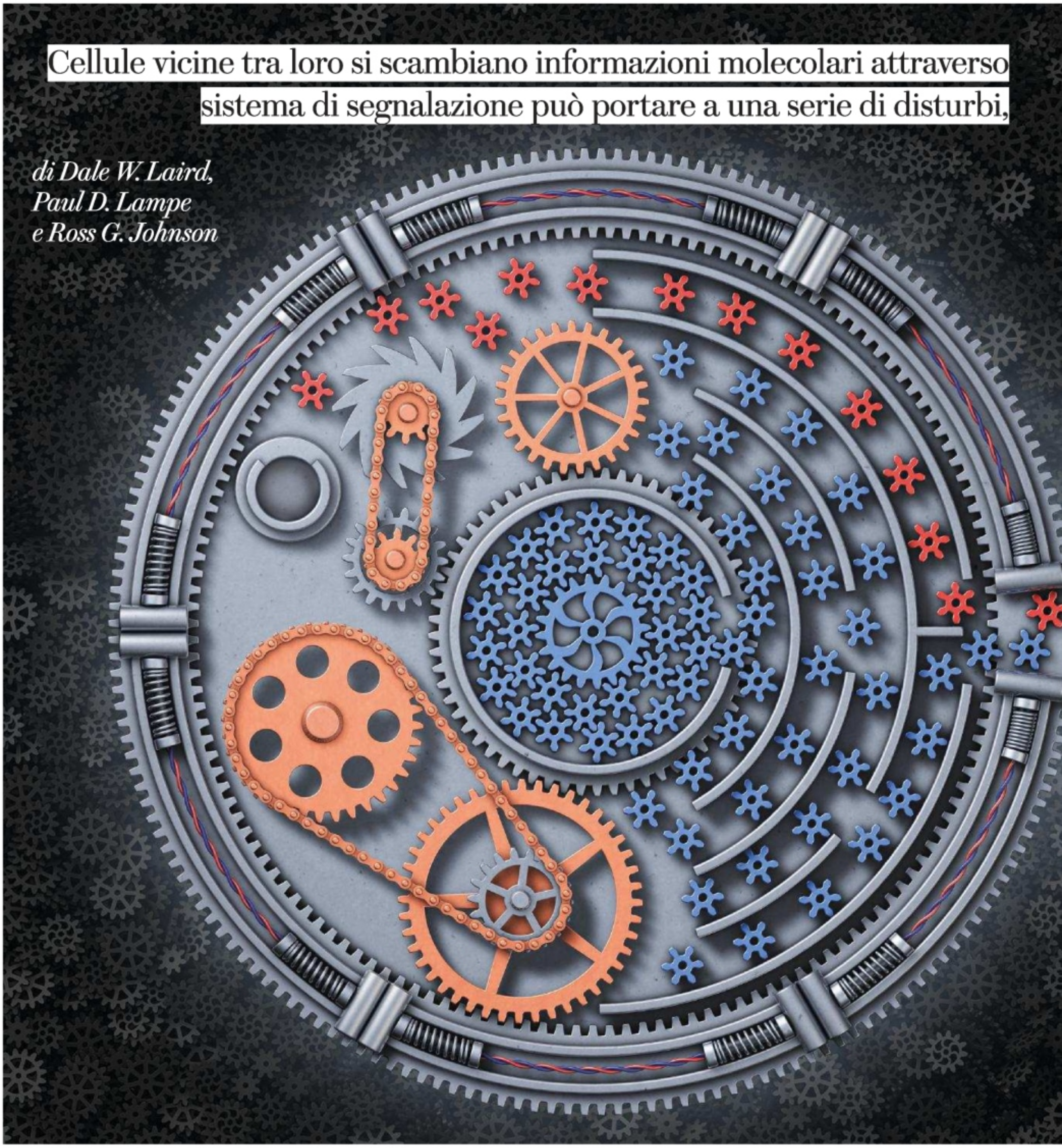
Fine-Scale Ecological and Economic Assessment of Climate Change on Olive in the Mediterranean Basin Reveals Winners and Losers. Ponti L., Gutierrez A.P., Ruti P.M. e Dell'Aquila A., in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 111, n. 15, pp. 5598-5603, 2014.

***Xylella fastidiosa* la più grave minaccia dell'olivicoltura italiana.** Catalano L., in «L'Informatore Agrario», n. 16, pp. 36-42, 23 aprile 2015.

Chiacchiere

Cellule vicine tra loro si scambiano informazioni molecolari attraverso sistema di segnalazione può portare a una serie di disturbi,

di Dale W. Laird, Paul D. Lampe e Ross G. Johnson



cellulari

canali che le collegano in modo diretto. La compromissione di questo
dalla perdita dell'udito alle malattie cardiache

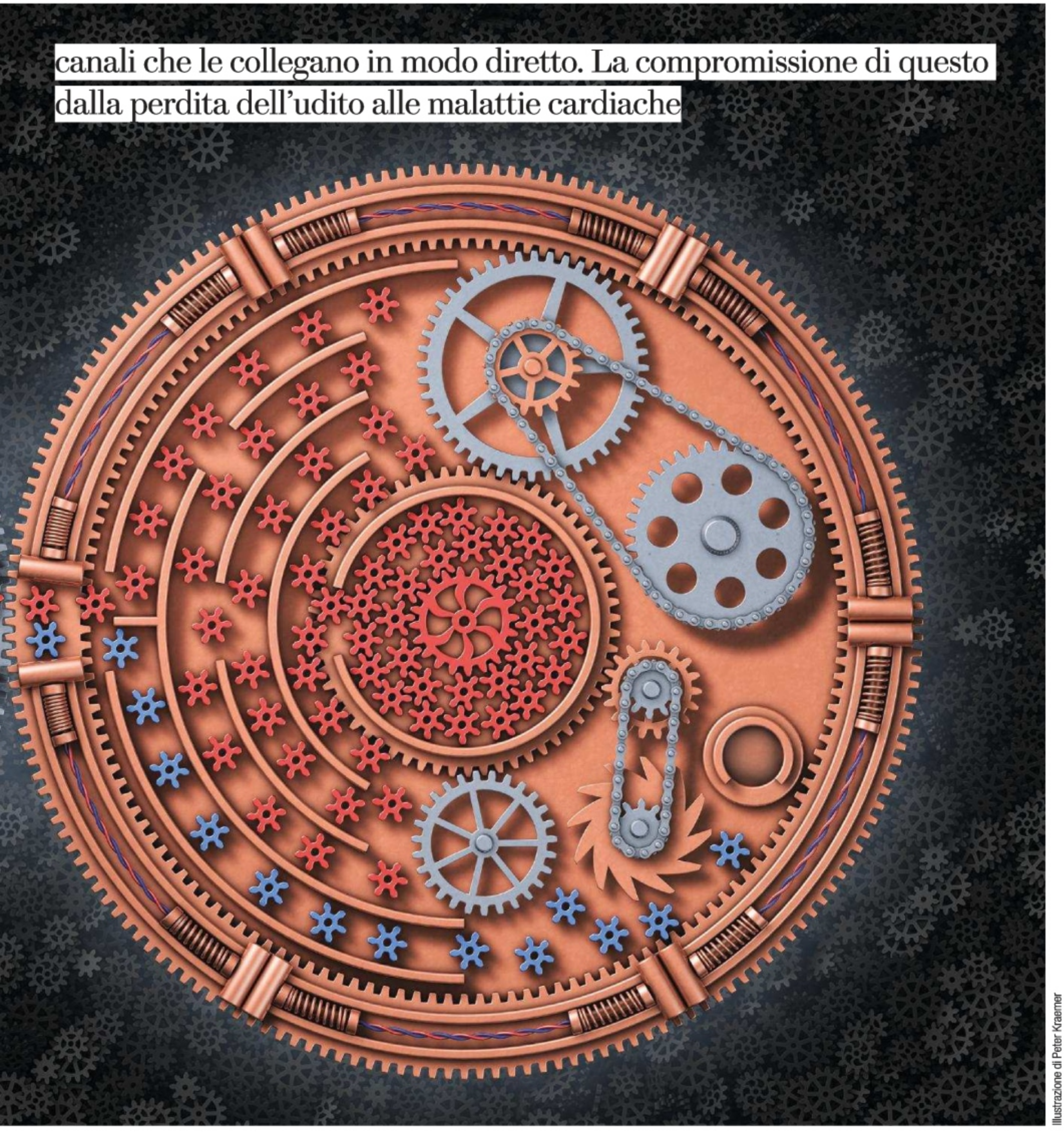


Illustrazione di Peter Kraemer

Dale W. Laird è professore di biologia cellulare e titolare della Canada Research Chair in giunzioni comunicanti e malattie alla University of Western Ontario.

Paul D. Lampe è condirettore del Translational Research Program e membro delle divisioni Pubblic Health Sciences e Human Biology del Fred Hutchinson Cancer Research Center di Seattle.

Ross G. Johnson è professore emerito di genetica e biologia cellulare e dello sviluppo all'Università del Minnesota. Ha cominciato a studiare le giunzioni comunicanti negli anni sessanta, poco dopo la scoperta di questi canali cellulari di comunicazione, e ne ha indagato assemblaggio e regolazione insieme a Laird e Lampe per oltre vent'anni.

Come le persone che condividono le novità via Twitter, Facebook o LinkedIn, anche le cellule usano diversi modi per scambiarsi informazioni. Alcune producono ormoni, che viaggiano in lungo e in largo seguendo il flusso sanguigno, altre producono neurotrasmettitori, che trasportano segnali da un neurone all'altro. Ma di fatto tutte le cellule, come si è scoperto, formano reti con quelle vicine grazie a estesi insiemi di canali che collegano l'interno di una cellula con quello delle cellule accanto.

I ricercatori hanno osservato un primo e spettacolare indizio di questa forma di comunicazione intercellulare a metà degli anni sessanta, iniettando molecole di colorante fluorescente in una cellula in mezzo a un mare di altre cellule assai vicine tra loro. Al microscopio gli scienziati potevano osservare la fluorescenza diffondersi rapidamente da una cellula a quella vicina, fino a quando nel tessuto non si erano illuminate anche centinaia di cellule. Studi precedenti avevano suggerito che gli ioni potevano trasmettere segnali elettrici tra cellule vicine. Ma osservare la diffusione di molecole di colorante, che sono piccole ma più grandi rispetto agli ioni, confermò oltre ogni dubbio che le cellule ospitano canali attraverso cui grandi quantità di molecole passano tra cellule adiacenti.

Oggi i biologi sanno che questi canali sono ovunque. Ce ne sono di vario tipo nei tessuti di tutti gli animali, essere umano compreso, e partecipano a una straordinaria varietà di funzioni. Queste tipologie di canali, le giunzioni comunicanti, contribuiscono a sincronizzare il battito delle cellule muscolari del cuore e le contrazioni dell'utero alla nascita; permettono all'occhio di adattarsi ai diversi livelli di luce; e hanno addirittura un ruolo nella formazione degli organi durante lo sviluppo embrionale.

Negli ultimi vent'anni gli scienziati hanno scoperto che certi difetti nella costituzione o nel funzionamento delle giunzioni comunicanti contribuiscono a una gamma di malattie umane, fra cui perdita dell'udito, cataratta, problemi dermatologici, disturbi neurologici, malattie cardiache e anche certi tipi di cancro. Una sola mutazione in una proteina che compone una giunzione comunicante nell'orecchio interno rende conto fino al 40 per cento dei casi di perdita dell'udito in individui con sordità ereditaria. E si continuano a scoprire a ritmo serrato nuove malattie legate alle giunzioni comunicanti, molte proprio negli ultimi anni, fra cui un tipo di epilessia che colpisce i bambini.

Ora gli studi offrono informazioni interessanti su come sono costruite queste giunzioni, e iniziano a mostrare in che modo difetti ed errori del loro assemblaggio e funzionamento causano malattie. I risultati dovrebbero portare a nuove terapie per i numerosi disturbi che nascono quando le cellule non riescono più a condividere informazioni «dall'interno».

Costruzione di ponti

Ai tempi dei primi esperimenti con i coloranti, i ricercatori non pensavano certo in termini di rilevanza medica. Negli anni sessanta e settanta gli scienziati erano concentrati sulla scoperta di altre prove di questa misteriosa comunicazione di vicinato tra le

IN BREVE

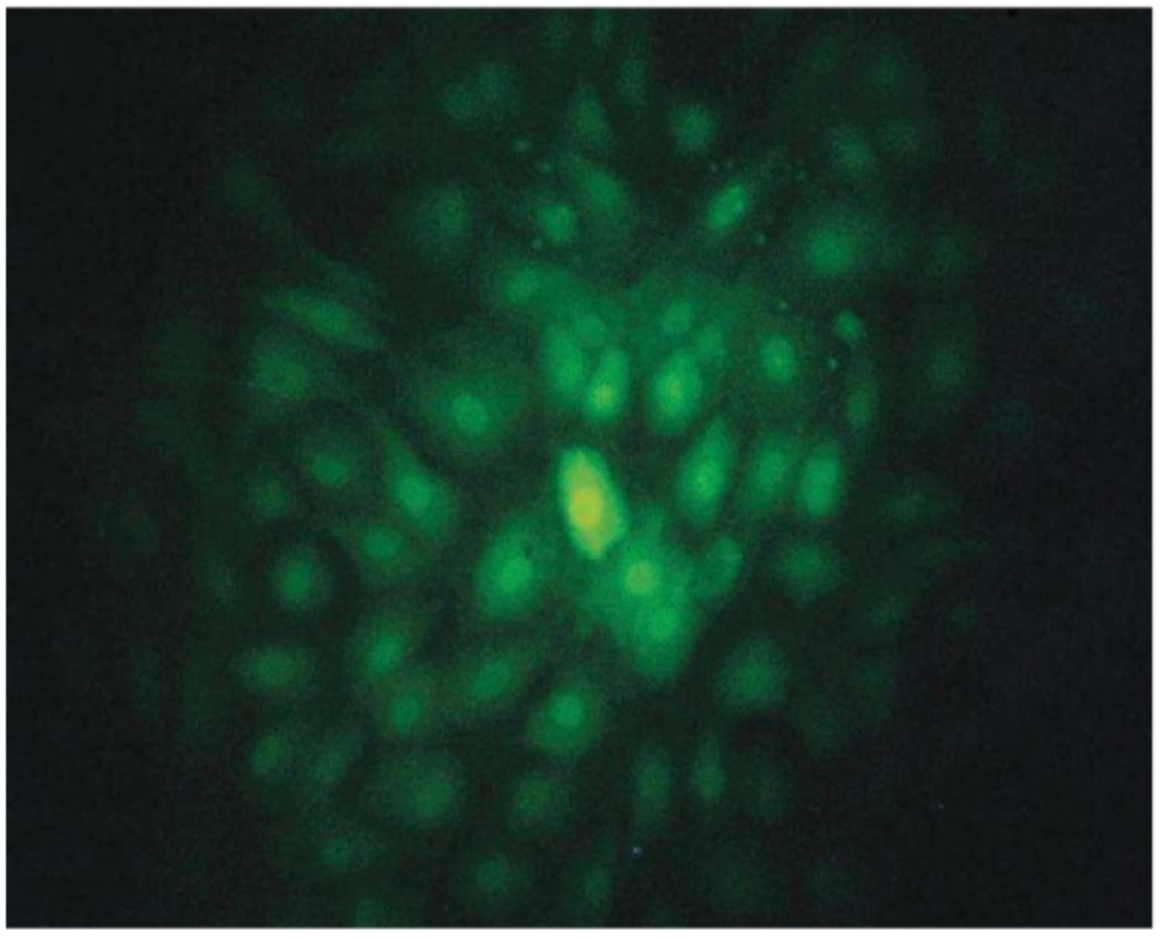
Le cellule scambiano informazioni con le vicine attraverso le giunzioni comunicanti, strutture che collegano direttamente una cellula a un'altra. Le conversazioni hanno a che fare con processi e attività di ogni tipo, dalla sincronizzazione del battito cardiaco all'udito.

Sebbene siano complesse e spesso composte da oltre 100.000 molecole proteiche, le giunzioni sono smontate e ricostruite di continuo. Questi processi di ristrutturazione, strettamente controllati, permettono alle cellule di rispondere rapidamente a lesioni o stress.

Varie mutazioni dei geni che codificano per le proteine delle giunzioni causano malattie, che vanno dai disturbi dermatologici a malattie cardiache, epilessia e sordità. Capire come questi difetti influiscono su assemblaggio e attività delle giunzioni dovrebbe portare a nuovi trattamenti.

cellule e sul saperne di più riguardo alle proprietà di questa comunicazione. Prima ancora della scoperta e dell'assegnazione del nome alle giunzioni comunicanti, i fisiologi avevano trovato che questa condivisione di informazioni molecolari avviene in una gran varietà di organismi, dall'embrione di calamaro ai pesci elettrofori e a molti tipi di cellule di mammifero. E avevano confermato che le molecole si muovono in effetti da una cellula all'altra nei punti in cui le loro membrane sono a stretto contatto.

Verso la fine degli anni sessanta gli scienziati puntavano a determinare aspetto e modalità di formazione dei canali. Studi precedenti di microscopia avevano mostrato larghe macchie appiattite nelle zone in cui le membrane di due cellule adiacenti sono strettamente accostate. In corrispondenza di queste giunzioni le cellule apparivano separate da un intervallo molto sottile, largo appena pochi nanometri; da cui il nome di giunzioni comunicanti, che poi è rimasto anche quando si è visto che questo spazio non è vuoto ma riempito delle parti dei canali che collegano una cellula a un'altra.



Un colorante iniettato in una cellula in coltura (*al centro*) è subito penetrato in altre cellule attraverso i canali delle giunzioni che collegano le cellule adiacenti.

Cortesia Michael Atkinson e Judson Sheridan (*Università del Minnesota*)

Per esplorare il ruolo che queste macchie delle membrane svolgono nella «connettività cellulare» osservata negli esperimenti con coloranti ed elettricità, uno di noi (Johnson) ha iniziato a studiare che cosa accade durante l'assemblaggio di queste strutture. Insieme ai colleghi dell'Università del Minnesota, Johnson separava con delicatezza cellule in coltura derivate da un tumore epatico e poi le mischiava di nuovo insieme. Dopo qualche minuto emergevano macchie sulle membrane cellulari, ma solo nei punti in cui due cellule entravano in contatto. L'osservazione confermava il sospetto che l'assemblaggio di una giunzione comunicante fosse un'impresa comune e richiedesse la collaborazione di entrambe le cellule adiacenti. Via via che le macchie appiattite maturavano e crescevano, cresceva anche la corrente elettrica che passava tra una cellula e l'altra. Sembrava che le giunzioni facilitassero gli scambi di ioni.

Separando le membrane delle cellule connesse per osservarle più da vicino, Johnson ha notato quelle che sembravano essere grosse particelle accumulatesi nelle macchie appiattite. In seguito è stato scoperto che queste particelle sono i canali alla base delle giunzioni comunicanti (*si veda il box a pp. 78-79*). A loro volta i canali sono composti da molecole dette connessine, che fanno parte di una famiglia di proteine identificata nei tardi anni ottanta.

Sei di queste proteine si uniscono a formare una struttura a ciambella detta emicanale. La struttura è poi inserita nella membrana esterna della cellula, dove può interagire con un emicanale di una cellula adiacente. Quando le connessine dei due emicanali accostati interagiscono, formano un poro continuo che collega le due cellule mettendo il citoplasma dell'una in comunicazione con quello dell'altra. Il poro, nei fatti, è un singolo canale della giunzione comunicante, e centinaia o migliaia di questi pori si aggregano a formare ciascuna giunzione.

Per le cellule, la costruzione di questi enormi apparati comunicativi è un'impresa colossale. Una sola giunzione comunicante può contenere 10.000 canali, e dato che ogni canale è fatto di due emicanali il totale può arrivare a 120.000 molecole di connessina per ogni giunzione. Il solo cuore contiene miliardi di cellule, ciascuna delle quali interagisce con numerose cellule adiacenti mediante giunzioni comunicanti. In altre parole, l'assemblaggio di queste colossali strutture è una meraviglia dell'ingegneria molecolare.

Ancor più notevole è il fatto che le giunzioni comunicanti non sono permanenti e neppure di lunga durata, ma sono costantemente smontate e ricostruite. Si è osservato che la metà delle connessine di una giunzione comunicante cardiaca è sostituita ogni due ore. Probabilmente nel corso di una giornata ogni singola giunzione del cuore umano è smontata e sostituita da nuovi canali assemblati.

Data la complessità di queste straordinarie strutture, sembrava probabile che dovessero esserci appositi sistemi per assicurare che la loro costruzione proceda regolarmente evitando ogni perdita di comunicazione intercellulare. Per cominciare a capire questi meccanismi di regolazione, noi tre, tutti studiosi di giunzioni comunicanti, abbiamo deciso di mettere insieme le rispettive competenze; in particolare, volevamo esplorare come sono controllati assemblaggio ed rimozione di questi diffusi canali di comunicazione

Aggregazioni

Abbiamo messo a punto la nostra collaborazione tra un caffè e l'altro durante una conferenza dedicata alle giunzioni comunicanti tenutasi all'Asilomar Conference Center di Pacific Grove, in California. Era il 1991; uno di noi (Lampe) era un *postdoctoral fellow* del laboratorio di Johnson all'Università del Minnesota, passato a studiare la regolazione dell'assemblaggio di queste strutture. A completare il terzetto, Laird, all'epoca *postdoctoral fellow* nel laboratorio di Jean-Paul Revel al California Institute of Technology, aveva appena sviluppato un insieme di molecole anticorpali che si legano specificamente alle connessine. Questi anticorpi ci avrebbero permesso di interagire con queste molecole e osservare quali parti delle connessine sono essenziali per la formazione e l'attività delle giunzioni intervallate.

Gli anticorpi di Laird riconoscono una particolare connessina: Cx43. Nei geni umani sono codificate 21 differenti proteine di questa famiglia e ogni tipo di cellula produce il suo caratteristico insieme di connessine. Le cellule dell'epidermide producono fino a nove connessine diverse; Cx43 è la più diffusa della famiglia, e si trova in molti organi, fra cui pelle, cuore, cervello, polmoni e ossa.

Come tutte le connessine, Cx43 è composta da quattro segmenti transmembrana, che attaccano la proteina alla membrana cellulare. La coda della proteina, che penzola all'interno della cellula, contiene vari elementi che in seguito avremmo scoperto coinvolti nella regolazione dell'attività della proteina e del suo assemblaggio in canali e giunzioni. E due porzioni curve, formate dalla catena proteica che attraversa più volte la membrana, sporgono nello spazio tra le cellule. Alcuni anticorpi generati da Laird si legano proprio a questi segmenti extracellulari.

Dato che le porzioni curve sporgono dalla superficie cellulare, sembrava ragionevole pensare che potessero funzionare da uncini grazie a cui le connessine si attaccano l'una all'altra. Per esaminare l'ipotesi avevamo prima separato le cellule cresciute in coltura per poi rimetterle insieme, aggiungendo però gli anticorpi di Laird. Questa volta, le giunzioni comunicanti non si formavano affatto: non osservavamo passaggi da una cellula all'altra di coloranti iniettati e neppure le tipiche strutture piatte delle giunzioni in via di formazione. Legandosi alle porzioni curve, gli anticorpi avevano impedito alle connessine di una cellula di attaccarsi alle corrispondenti connessine della cellula adiacente.

Gli studi con gli anticorpi avevano dimostrato che i collegamenti delle connessine sono essenziali alla costruzione delle giunzioni comunicanti. Ma per osservare gli spostamenti delle connessine nella cellula vivente ci voleva una tecnica diversa.

Seguite quella proteina

Nel 1994 ci siamo incontrati tutti e tre a un'altra conferenza. Nelle discussioni serali sulle presentazioni a cui avevamo assistito, a destare il nostro entusiasmo fu la proteina fluorescente verde (GFP), uno strumento molecolare la cui utilità sarebbe stata premiata con il Nobel. Una ricercatrice aveva raccontato di aver legato questo tracciante fluorescente alla sua proteina favorita per seguirne gli spostamenti nelle cellule viventi. Noi ci siamo chiesti se avremmo potuto usarlo per seguire i movimenti delle connessine.

Abbiamo cominciato aggiungendo GFP alla coda della connessina. L'approccio funzionava bene: le connessine etichettate si inserivano correttamente nella membrana cellulare, e si assemblavano in giunzioni funzionali che esibivano quasi tutte le proprietà delle giunzioni composte da connessine non modificate. Avevamo un potente strumento con cui osservare il comportamento delle connessine dentro le cellule: un lavoro che Laird ha proseguito quando è passato alla University of Western Ontario.

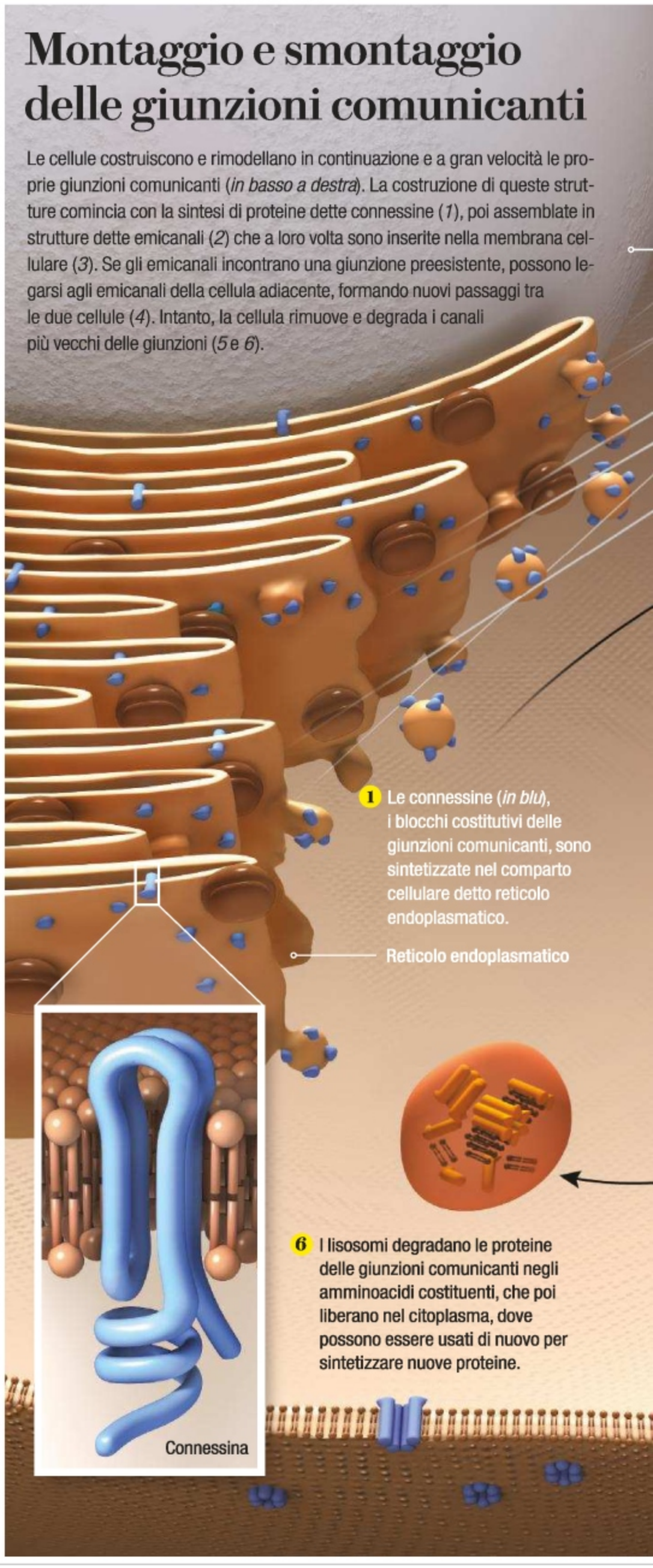
Le prime osservazioni sono state una sorpresa. All'inizio abbiamo scattato immagini delle cellule contenenti le connessine etichettate ogni dieci minuti, pensando di poter poi unire le istantanee in un filmato al rallentatore in cui si vedessero bene gli spostamenti. Solo che le connessine si muovevano così in fretta che non si riusciva a distinguerle una dall'altra o a capire dove era andata ciascuna proteina. Abbiamo ridotto l'intervallo a due minuti, ma ancora non bastava. Per osservare le singole molecole etichettate nei loro spostamenti dentro la cellula, alla fine abbiamo dovuto scattare le istantanee a distanza di pochi secondi.

I filmati ci hanno permesso non solo di seguire le connessine, ma anche di osservare il trasporto degli emicanali dentro le cellu-

LE BASI

Montaggio e smontaggio delle giunzioni comunicanti

Le cellule costruiscono e rimodellano in continuazione e a gran velocità le proprie giunzioni comunicanti (*in basso a destra*). La costruzione di queste strutture comincia con la sintesi di proteine dette connessine (*1*), poi assemblate in strutture dette emicanali (*2*) che a loro volta sono inserite nella membrana cellulare (*3*). Se gli emicanali incontrano una giunzione preesistente, possono legarsi agli emicanali della cellula adiacente, formando nuovi passaggi tra le due cellule (*4*). Intanto, la cellula rimuove e degrada i canali più vecchi delle giunzioni (*5* e *6*).



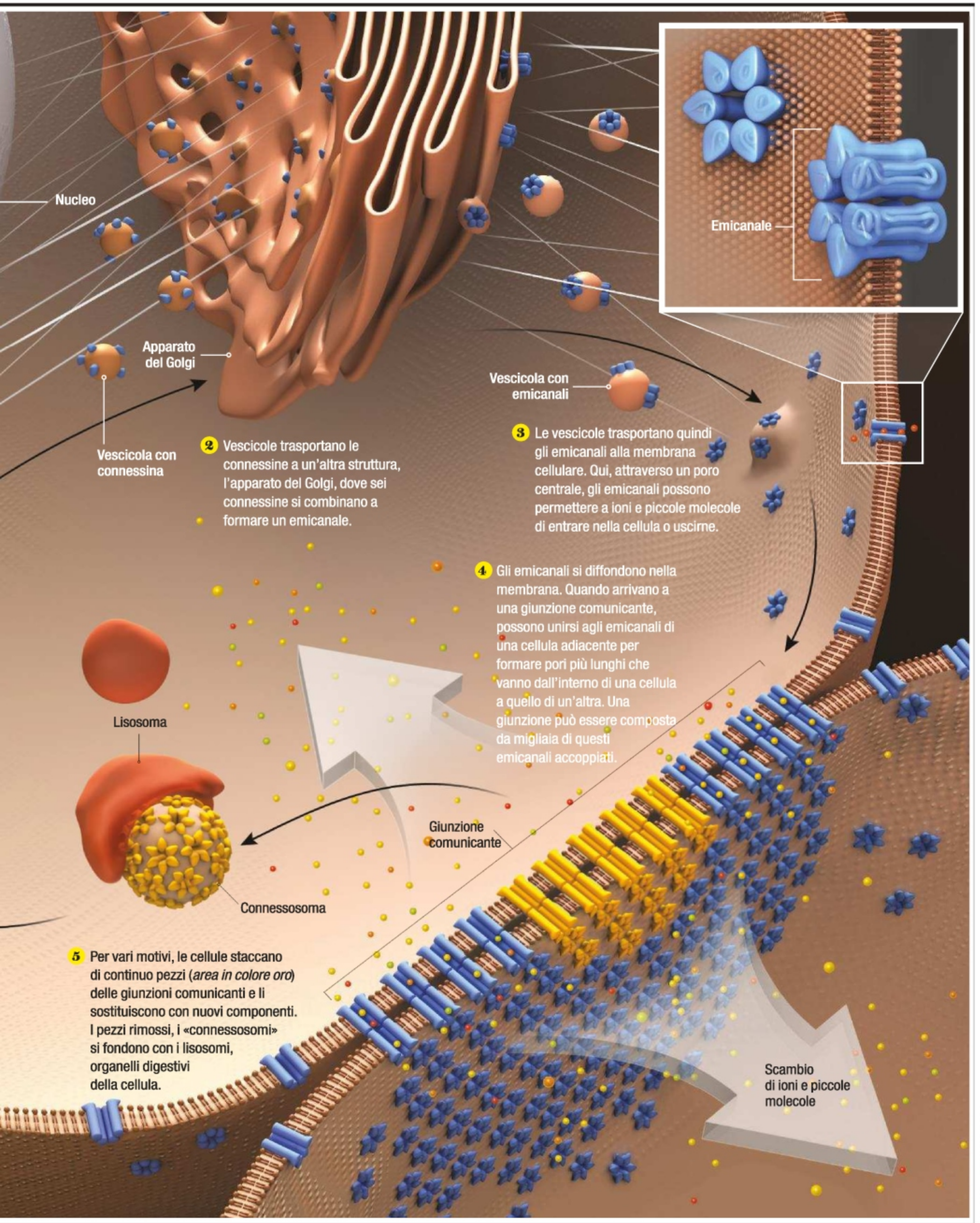


Illustrazione di Emily Cooper

le lungo binari molecolari costituiti da strutture dette microtubuli. Sia noi che altri abbiamo osservato che piccole giunzioni comunicanti possono unirsi fra loro a darne di più grandi, un fenomeno già suggerito dai nostri studi di microscopia elettronica. Inoltre abbiamo dimostrato che le giunzioni più grandi possono spezzarsi in più piccole, una forma di rimodellamento che si verifica quando le cellule crescono, si spostano, si piegano e si dividono.

Altri colleghi hanno trovato nuovi metodi per etichettare le connessine e scoperto che le giunzioni crescono per aggiunta di nuovi emicanali al perimetro esterno, in modo che la regione centrale della giunzione rappresenti la parte più «antica» della macchia. Questi componenti più vecchi sembrano rimossi via via che la giunzione invecchia, un'osservazione che può servire a spiegare come le giunzioni comunicanti restino al proprio posto anche quando perdono connessine al loro interno: i nuovi canali si affollano verso l'interno sostituendo i vecchi.

Forse però il risultato più notevole dei nostri studi sulle cellule vive è che le giunzioni comunicanti possono anche essere assorbite dalla cellula in larghi blocchi, in cui una delle due cellule adiacenti strappa via un pezzo di quella vicina: un meccanismo che già altri avevano proposto, basandosi su precedenti immagini al microscopio elettronico. In questa radicale manovra sono ingeriti in un colpo solo componenti della giunzione provenienti da tutte e due le cellule; il processo è forse un meccanismo di sicurezza con cui bloccare rapidamente le comunicazioni tra due cellule quando non sono più desiderabili. Questa eliminazione su larga scala delle giunzioni si verifica effettivamente nell'utero a nascita avvenuta, disabilitando le reti di comunicazione formatesi per coordinare le contrazioni.

Prendere il controllo

Sapendo che le giunzioni sono costantemente rinnovate, abbiamo poi iniziato a studiare come le cellule possono mantenere il controllo di questo massiccio rimodellamento molecolare. Le prime ricerche indicavano che il ruolo di regolazione spettava a proteine dette chinasi. Grazie alla semplice aggiunta di un gruppo fosfato a una proteina bersaglio, le chinasi possono modificare attività o posizione di quella proteina all'interno della cellula.

La sfida era capire se le proteine chinasi regolano anche il comportamento delle connessine e, se così fosse, che cosa facciano queste fosforilazioni. Lampe ha iniziato a dirigere questi studi quando ha creato un proprio laboratorio al Fred Hutchinson Cancer Research Center di Seattle, nel 1994. Smontando Cx43 ed esaminandone un pezzo alla volta, Lampe ha scoperto che questa connessina può essere fosforilata in un massimo di 15 punti diversi della coda. Con queste informazioni abbiamo decifrato parte del codice di regolazione che controlla la formazione delle giunzioni comunicanti che contengono Cx43. Quando specifiche chinasi agiscono su determinate parti della coda proteica, la modifica risultante promuove l'assemblaggio delle giunzioni che contengono Cx43; altre chinasi che agiscono su parti diverse della coda inibiscono invece formazione, attività o dimensioni delle giunzioni.

Oggi la conoscenza del codice di regolazione ci permette di studiare i tessuti umani alla ricerca di indizi su come i cambiamenti nella fosforilazione possano alterare assemblaggio e funzionamento delle giunzioni in risposta a lesioni o in malattie. Noi e altri ricercatori abbiamo iniziato a verificare, per esempio, come cambia la comunicazione attraverso le giunzioni comunicanti quando le cellule cardiache cercano di riprendersi dalla mancanza di ossigeno dovuta a un infarto, o quando le cellule della pelle si mobilitano per guarire un taglio o un graffio. In entrambi i casi, Lampe ha trovato che aumenta la fosforilazione di un particolare sito della coda di Cx43. Questa fosforilazione incrementa per un breve tempo le dimensioni delle giunzioni in questi tessuti impedendo a Cx43 di interagire con un'altra proteina (studiata da altri gruppi di ricerca) che limita la capacità delle nuove connessine di integrarsi nelle giunzioni che già ci sono. Questo aumento di dimensioni delle giunzioni incrementa le comunicazioni, il che è essenziale nei primi minuti dopo la lesione, e contribuisce a preservare la funzionalità dei tessuti cardiaci, o a facilitare la migrazione delle cellule epidermiche necessaria per chiudere una ferita aperta.

Sapere come la fosforilazione influisce su assemblaggio e funzione delle connessine – e come cambia la comunicazione attraverso le giunzioni comunicanti in risposta a lesioni e malattie – ha aperto la strada allo sviluppo di agenti terapeutici che possano promuovere o inibire l'attività delle chinasi coinvolte. Queste strategie terapeutiche andranno seguite con cautela, perché l'aumento delle giunzioni intervallate in un certo stadio della malattia potrebbe rivelarsi dannoso in seguito. Per esempio, mentre le giunzioni comunicanti aumentano di dimensioni per un breve tempo subito dopo una lesione, poi sono rapidamente degradate per promuovere la vera e propria guarigione. Nei diabetici la chiusura delle ferite è ritardata dalla prolungata eccessiva produzione di Cx43. E se la cornea subisce un graffio le connessine possono promuovere infiammazione e formazione di cicatrici invece della guarigione. In questi casi, limitare la produzione o la funzionalità di Cx43 nelle cellule circostanti la lesione promuove la rapida riparazione delle ferite senza cicatrici residue, un approccio oggi seguito da diverse aziende biotecnologiche.

Lo studio delle conseguenze delle mutazioni sulle giunzioni comunicanti può

Prima di poter sfruttare pienamente le conoscenze sulla biologia delle giunzioni comunicanti per mettere a punto terapie efficaci, dovremo capire più a fondo come le varie connessine si uniscono nei diversi tessuti in condizioni differenti e come aggregazione e attività di queste strutture non vanno per il verso giusto nelle malattie. Lo studio delle mutazioni dannose dei geni che codificano per le connessine comincia a dare qualche risultato utile.

Bloccare le comunicazioni

A metà degli anni novanta i ricercatori hanno ottenuto la prima solida prova genetica del fatto che le connessine possono avere un ruolo nelle malattie. Si è scoperto che mutazioni nel gene che codifica per Cx32 provocano una condizione neurologica detta malattia di Charcot-Marie-Tooth. In questo disturbo scompaiono le giunzioni comunicanti della guaina mielinica che isola i nervi, provocando il degrado della mielina e portando alla degenerazione dei nervi; a sua volta, questa perdita precipita in atrofia muscolare e debolezza, in particolare negli arti.

Con la scoperta che mutazioni nei geni delle connessine hanno gravi conseguenze fisiologiche, il campo delle giunzioni comunicanti ha visto un'esplosione di interesse da parte di ricercatori e clinici decisi a determinare le basi genetiche di queste malattie. Nuovi studi hanno identificato altre mutazioni e oggi sono noti 14

diversi disturbi derivanti da difetti delle connessine delle giunzioni comunicanti.

La cosa più strabiliante di questo insieme di condizioni è l'ampiezza della loro diversità. Oltre che nella malattia neurodegenerativa di Charcot-Marie-Tooth, mutazioni delle connessine possono trovarsi in perdita dell'udito, epilessia, malattie cardiache, disturbi dermatologici e cataratta, e in svariati disturbi che emergono nel corso dello sviluppo embrionale. Come ci si poteva attendere, mutazioni di connessine diverse contribuiscono a malattie diverse. Ma con sorpresa abbiamo scoperto che le connessine mutanti non colpiscono necessariamente tutti gli organi e i tessuti allo stesso modo; se una certa mutazione si trova in due organi, è possibile che danneggi la funzionalità dell'uno ma non dell'altro.

Molti gruppi di ricerca cercano di capire questo fenomeno. Una spiegazione potrebbe essere che in certi tessuti connessine sane possono compensare le mancanze della variante difettosa, garantendo la continuità di una comunicazione adeguata attraverso le giunzioni comunicanti. Un simile meccanismo di compensazione potrebbe verificarsi in alcuni tessuti ma non in altri. O forse una data connessina svolge un certo ruolo in un certo tessuto ma ruoli diversi in altri, in funzione delle altre connessine presenti. I vari membri di questa famiglia di proteine possono anche mischiarsi fra loro a dare canali ibridi che potrebbero facilitare il passaggio di segnali molecolari diversi, alcuni dei quali potrebbero essere più importanti in certi tessuti rispetto ad altri.

Tuttavia ci sono connessine i cui difetti compromettono molti tessuti. Consideriamo un disturbo che stiamo studiando, la displasia oculo-dento-digitale (DODD). Le persone con questa condizione, causata da mutazioni nel gene che codifica per Cx43, hanno una gamma di sintomi, fra cui occhi piccoli, denti poco sviluppati, deformità dello scheletro della faccia e della testa e malformazioni agli arti. Come se non bastasse, alcuni di loro sviluppano una condizione dermatologica che produce spessi calli squamosi su palmo delle mani e piante dei piedi. Recenti studi sul ciclo di vita delle connessine hanno dato qualche indizio sul perché alcune persone hanno una forma della malattia più severa di altre.

Nelle persone con DODD sono state trovate oltre 70 mutazioni nel gene che codifica per Cx43 e noi abbiamo cominciato a studiare gli effetti queste mutazioni sulla proteina e come agiscono sulla costruzione delle giunzioni comunicanti. Laird ha trovato che molte delle mutazioni del gene per Cx43 producono una connessina che raggiunge la membrana cellulare ma non forma una giunzione funzionale; attraverso queste giunzioni i coloranti non passano da cellula a cellula, indicando che o non sono assemblate nel modo giusto o non permettono il passaggio dei segnali molecolari. In entrambi i casi, le mutazioni diminuiscono le comunicazioni tra cellule.

Altre mutazioni legate alla DODD impediscono alla connessina di arrivare alla membrana cellulare. In genere i pazienti con questa mutazione hanno la forma più severa della malattia, compresi i disturbi dermatologici. Questi risultati suggeriscono che gli emicanali delle connessine possano avere altri compiti oltre a far parte delle giunzioni comunicanti. Quando questi compiti non sono assolti, come accade nel caso in cui le connessine non arrivano alla membrana cellulare, emergono problemi più gravi. Per esempio, invece di accoppiarsi a formare canali, alcuni emicanali forse restano disaccoppiati, permettendo alle cellule di liberare segnali o assorbire molecole dall'ambiente, che potrebbero essere diverse da quelle che di norma attraversano i canali delle giunzioni. Questa attività degli emicanali è stata dimostrata sperimentalmente, e aggiunge una nuova dimensione alla nostra conoscenza del ruolo svolto dalle connessine nelle comunicazioni cellulari. Ulteriori studi degli emicanali mutanti potrebbero rivelare nuovi bersagli, comprese molecole ancora non identificate che attraversano gli emicanali disaccoppiati, per il trattamento della DODD o di altri disturbi dovuti alle connessine.

Comunicazioni segrete

Lo studio dell'azione delle mutazioni su costruzione e comportamento delle giunzioni comunicanti potrebbe anche portare a terapie mirate che contrastino gli effetti di una mutazione senza scatenare seri effetti collaterali indesiderati. Sapere, per esempio, che una particolare mutazione modifica l'assemblaggio di una certa giunzione, ma non il trasporto della connessina alla membrana cellulare, potrebbe aprire la strada a un farmaco che ripristini la capacità della connessina di formare canali funzionali. Simili terapie mirate potrebbero portare a ristabilire le comunicazioni intercellulari senza dover sostituire la connessina mutante, obiettivo che richiederebbe una terapia genetica, un approccio che è ancora rischioso e sperimentale.

portare a terapie che contrastino questi difetti senza causare seri effetti collaterali

La scoperta di mutazioni delle connessine che causano malattie non offre solo bersagli promettenti per le terapie, ma dà ai ricercatori una nuova serie di strumenti con cui studiare la biologia di base delle giunzioni. Per esempio ancora non abbiamo una conoscenza completa su quali specifiche molecole passino da una cellula all'altra attraverso le giunzioni. Nel caso delle cellule cardiache, sappiamo che gli ioni che attraversano le giunzioni trasportano un segnale elettrico. Ma quasi non abbiamo idea di che cosa passi tra le cellule a sostegno, per esempio, delle funzioni dell'apparato uditivo nell'orecchio, o nelle risposte di guarigione delle ferite.

Osservando il comportamento dei canali di connessina nelle diverse cellule e come i cambiamenti di composizione e attività possono causare malattie, potremo affrontare le domande fondamentali su questa intima forma di comunicazione cellulare: che cosa si dicono le cellule, bisbigliando fra loro? E in che modo questi segreti molecolari governano assemblaggio e funzionamento di tutti gli organismi, compresi noi stessi? ■

PER APPROFONDIRE

Specific Cx43 Phosphorylation Events Regulate Gap Junction Turnover in Vivo. Solan J.L. e Lampe P.D., in «FEBS Letters», Vol. 588, n. 8, pp. 1423-1429, 17 aprile 2014.

Mutants, Mice & Melanomas. Intervista a Dale W. Laird, in «International Innovation», n. 115, pp. 22-24, ottobre 2013.

Gap Junction Assembly: Roles for the Formation Plaque and Regulation by the C-Terminus of Connexin43. Johnson R.G. e altri, in «Molecular Biology of the Cell», Vol. 23, n. 1, pp. 71-86, 1° gennaio 2012.

Trafficking, Assembly, and Function of a Connexin43-Green Fluorescent Protein Chimera in Live Mammalian Cells. Jordan K. e altri., in «Molecular Biology of the Cell», Vol. 10, n. 6, pp. 2033-2050, 1° giugno 1999.

Le giunzioni tra le cellule viventi. Staehelin L. A. e Hull B.E., in «Le Scienze» n. 119, luglio 1978.

Comunicazione intercellulare. Loewenstein W.R., in «Le Scienze» n. 24, agosto 1970.

Madre e figlia.
Carolina, 17 anni, ha lasciato
la scuola per prendersi cura
della madre Yolanda, 53, vittima
da anni di una rara forma genetica
di Alzheimer.

MEDICINA

Risolvere la maledizione dell'Alzheimer

di Gary Stix
Fotografie di Juan Arredondo

Alcune famiglie della Colombia, portatrici di una rara mutazione genetica che causa la malattia, sono al centro delle ricerche di una cura

Gary Stix è senior editor di «Scientific American».

Nel 2007, quando aveva 16 anni, Alejandra aveva le aspirazioni di qualsiasi ragazza della sua età: frequentava una scuola secondaria a Medellín, una delle più grandi città della Colombia, e inframezzava gli impegni scolastici con il maggior numero di ore che riusciva a trascorrere con gli amici. Ma poi sua madre Yolanda ha iniziato a perdere la memoria.

Le capitava di salutare un ospite e poi, qualche istante dopo, ripetere il saluto. E ancora. E ancora. A circa 45 anni Yolanda aveva sviluppato la malattia di Alzheimer a esordio precoce. Per Alejandra questo significò la fine dell'adolescenza: che le piacesse o meno, doveva assumersi la responsabilità di assistere a tempo pieno una madre sempre meno autosufficiente.

Da allora Alejandra, che oggi ha 24 anni, si è trasferita a Copacabana, dove divide un appartamento con una zia, due zii, la figlia Luna di nove anni e la sorella Carolina, di 17, che ha lasciato la scuola per aiutare a casa. Sua madre non è più in grado né di parlare né di camminare e passa la maggior parte del tempo curva su una sedia. Anche uno degli zii, di 51 anni, soffre di demenza.

Tutti i giorni le ragazze cucinano per i due pazienti, nutrendoli attraverso dei cateteri. Li lavano e li mettono a letto, e ripetono la stessa routine giorno dopo giorno. «Avevo delle speranze», racconta Alejandra. «Avevo dei progetti. Volevo studiare, diventare infermiera. Tutti progetti che non sono riuscita a realizzare... Mi sento come se stessi già invecchiando».

Alejandra aveva dei presentimenti sul proprio destino molto prima che la madre ricevesse la diagnosi formale: quando era bambina, ricorda di averla osservata prendersi cura della nonna, anche lei malata di Alzheimer. In questo angolo di mondo sono molte le persone condividono l'esperienza di Alejandra: lei e la madre fanno parte degli oltre 5000 soggetti appartenenti a 26 nuclei familiari della provincia colombiana di Antioquia che sono considerati ad alto rischio per lo sviluppo di una rara forma genetica di Alzheimer.

«Paisa», il nome dato alla mutazione che causa la malattia, è il soprannome regionale degli abitanti di Antioquia. Localizzata sul cromosoma 14, la mutazione è stata fatta risalire al tempo dei *conquistadores* spagnoli, nel XVI secolo. Quando una copia del gene alterato viene ereditata dal padre o dalla madre, il bambino svilupperà inevitabilmente la malattia in giovane età.

L'Alzheimer familiare, così si chiama questa forma della malattia, costituisce solo l'1 per cento dei più dei 35 milioni di casi di Alzheimer nel mondo. Ma nei dintorni di Medellín, dove la mutazione Paisa è presente in più del 20 per cento degli oltre 5000 membri delle 26 famiglie, è diffusa in misura inquietante. Un portatore ha buone probabilità di sviluppare la malattia prima dei cinquant'anni.

IN BREVE

Un neurologo colombiano ha identificato 26 gruppi familiari, molti dei quali provenienti dalle aree rurali attorno alla città di Medellín, affetti da una rara forma genetica della malattia di Alzheimer.

Le dimensioni del gruppo, oltre 1000 portatori di una mutazione che garantisce in pratica che l'individuo svilupperà la malattia, lo rendono ideale per una innovativa sperimentazione clinica.

I partecipanti allo studio di Medellín ricevono un farmaco sperimentale, in alcuni casi con 15 anni di anticipo rispetto al previsto esordio della malattia.

L'eventuale successo di una sperimentazione di prevenzione della malattia, contrapposto a un intervento dopo la diagnosi, potrebbe rivoluzionare il modo con cui oggi vengono sviluppati i farmaci per l'Alzheimer.

Fatica quotidiana. Alejandra, 24 anni, trascorre i giorni prendendosi cura della madre Yolanda, cosa che le lascia poco tempo per la figlia di nove anni, Luna, qui in posa con la nonna con il vestito della prima comunione.

L'alta prevedibilità della malattia di Alzheimer tra i cittadini di Antioquia ha cominciato ad attirare l'attenzione degli specialisti di tutto il mondo. Per anni i ripetuti tentativi di sviluppare un trattamento non hanno avuto successo. Frustrati dall'aver assistito al fallimento di un farmaco dopo l'altro, gli scienziati sono giunti alla conclusione che arrestare la progressione della malattia dopo la comparsa dei sintomi potrebbe essere troppo tardi.

Hanno quindi cominciato a rivolgere l'attenzione alla prevenzione: invece di trattare le persone quando già mostrano i segni della demenza, potrebbe essere necessario somministrare farmaci sperimentali a soggetti ancora sani, proseguendo con un controllo continuo per capire se si mantengono in salute o se sviluppano la malattia.

Condurre una sperimentazione di questo genere sulla popolazione generale sarebbe lungo e costoso, a causa delle difficoltà di prevedere se e quando la malattia si svilupperà, un'incertezza di cui queste famiglie colombiane non godono. Le famiglie portatrici della fatidica mutazione sono state reclutate all'interno di una sperimentazione clinica per testare un farmaco contro l'Alzheimer. Avendo convissuto con la dura realtà della malattia per secoli, queste persone si sono rivelate un anello fondamentale nella ricerca di un trattamento per la prevenzione.

La visione

Nella lotta all'Alzheimer, lo spostamento dell'interesse verso la prevenzione si avvale dei più importanti e recenti avanzamenti nella ricerca sulla malattia. La sperimentazione clinica in corso sfrutta la risonanza magnetica e la tomografia a emissione di positroni per ottenere scansioni cerebrali che, combinate con le punture lombari, permettono di identificare alcuni indizi rivelatori dell'Alzheimer. Grazie a queste tecnologie i ricercatori sono in grado di studiare i cambiamenti che si verificano a livello cerebrale in una persona destinata a sviluppare la demenza decenni prima che sia emessa una diagnosi formale della malattia.

Con questi nuovi strumenti, i ricercatori possono determinare l'effetto sui pazienti di un farmaco, magari uno che nel corso delle sperimentazioni precedenti non ha prodotto gli effetti desiderati, anni prima che i soggetti inizino a presentare i segni di deficit della memoria. Se le immagini non mostrano alcuna alterazione cerebrale associata all'Alzheimer e se il paziente non mostra di soffrire di alcun declino cognitivo, ciò significa che il farmaco potrebbe aver contribuito a tenere alla larga la malattia. La prevedibilità dell'Alzheimer tra gli abitanti di Antioquia di mezza età con mutazione Paisa giustifica il crescente interesse verso il loro reclutamento all'interno di sperimentazioni cliniche che prevedano lo studio di strategie preventive.

La figura chiave di questa battaglia è Francisco Lopera, un neurologo di 63 anni che ha iniziato a studiare le famiglie di Antioquia molto prima che chiunque immaginasse la loro importanza per la ricerca sull'Alzheimer. Lopera ha passato gli anni dell'adolescenza a Yarumal, una cittadina colombiana da cui provengono molte delle famiglie con mutazione Paisa, e ricorda i vicini di mezza età che soffrivano di demenza. Dopo la specializzazione, conseguita in Belgio alla fine degli anni ottanta, Lopera si convinse che avrebbe ottenuto di più come ricercatore se fosse tornato in Colombia anziché rimanere in Europa. Già allora Lopera aveva identificato la prima famiglia colpita da quella che, sospettava, era una forma genetica della malattia. Nel 1987 fece ritorno in

Farmaco o placebo? Orfa, 36 anni, si sottopone a un'iniezione che potrebbe contenere il farmaco o un placebo. Periodicamente chiede un permesso dal lavoro nei campi di caffè per recarsi all'Università di Antioquia e prendere parte all'Alzheimer's Prevention Initiative.

Colombia, dove iniziò a lavorare come neurologo all'Università di Antioquia, e riprese lo studio delle famiglia con Alzheimer ad esordio precoce.

Oggi Lopera guida il gruppo di neuroscienze dell'università. Nel corso di vari decenni ha ricostruito gli estesi alberi genealogici che descrivono le 26 famiglie. La sua ricerca ha incontrato molti ostacoli: per mantenere i contatti di routine con le famiglie talvolta è stato necessario ricorrere a convogli militari per attraversare le regioni teatro dei combattimenti tra l'esercito colombiano e i gruppi di guerriglia armata.

L'iniziale curiosità verso le famiglie colpite da quella che sembrava essere una forma genetica di Alzheimer si è evoluta in un progetto di ricerca completo. Nel 1995, assieme a Kenneth S. Kosik, Alison Goate della Washington University a St. Louis e altri ricercatori statunitensi, Lopera ha individuato l'esatta posizione della mutazione Paisa su un gene del cromosoma 14.

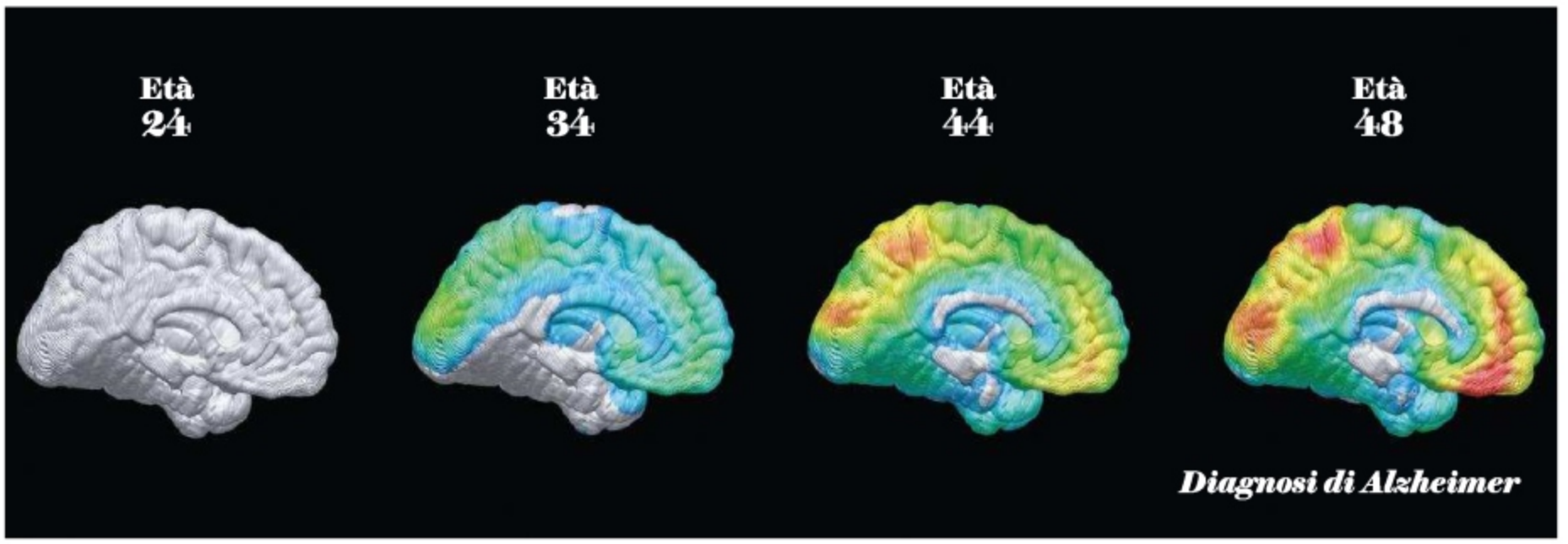
La nuova concentrazione sulla prevenzione deriva dall'incredibile tasso di insuccesso dei trattamenti testati sui malati di Alzheimer. Delle 413 sperimentazioni cliniche condotte tra il 2002 e il 2012, più del 99 per cento è fallito. Le poche molecole che hanno ricevuto l'approvazione degli enti regolatori riescono, talvolta, a offrire un sollievo temporaneo dai sintomi, ma non ad arrestare in maniera definitiva la perdita di memoria o delle capacità cognitive.

L'assenza di successi ha obbligato case farmaceutiche e ricercatori a prendere in considerazione la possibilità di condurre sperimentazioni cliniche mentre i pazienti sono ancora sani. Secondo l'opinione corrente, alla comparsa dei primi sintomi dell'Alzheimer i neuroni potrebbero aver iniziato a deperire, e le vie di comunicazione tra le diverse cellule cerebrali sarebbero già inefficienti. Una volta che si sono manifestati i primi problemi di memoria, non esiste alcun farmaco in grado di salvare il paziente dalla malattia.

Le 26 famiglie colombiane sono un soggetto di studio ideale per i trattamenti di prevenzione, dato che gli oltre 1000 portatori della mutazione Paisa che si trovano tra loro costituiscono un gruppo abbastanza esteso di potenziali partecipanti agli studi da cui ottenere risultati significativi in una sperimentazione clinica. E poiché in questo gruppo l'Alzheimer familiare è così prevedibile, i ricercatori possono risalire indietro di 10-15 anni e identificare il momento adatto in cui iniziare a somministrare il farmaco per interrompere la progressione della malattia.

L'esistenza di queste famiglie ha raggiunto una visibilità tale da attirare l'interesse del Banner Alzheimer's Institute di Phoenix, che nel 2010 ha segnalato l'esistenza del gruppo alle principali case farmaceutiche, tanto da convincerle a prendere in considerazione la possibilità di una sperimentazione sulla prevenzione. L'istituto ha stretto una collaborazione con la Genentech e l'Università di Antioquia per la sperimentazione del crenezumab, un anticorpo monoclonale in grado di legarsi ai frammenti tossici della proteina beta-amiloide e di rimuoverli dal cervello dei pazienti. Grazie al contributo di Genentech, Banner Alzheimer's Foundation e dei National Institutes of Health, l'iniziativa ha raccolto più di 100 milioni di dollari.

CONTROLLI CEREBRALI



Vigile attesa

Le sperimentazioni cliniche per la prevenzione dell'Alzheimer sono divenute possibili grazie all'avvento di nuove tecnologie – scansioni cerebrali, punture lombari, test psicologici molto sensibili – che consentono di determinare la progressione della malattia prima della comparsa dei deficit di memoria. Una particolare tecnica di tomografia a emissione di positroni mostra il caratteristico accumulo nocivo di proteina beta-amiloide a livello cerebrale nei portatori della mutazione Paisa (*regioni colorate*) a diverse età, fino alla diagnosi di Alzheimer. I depositi di beta-amiloide sono assenti nel cervello dei soggetti di queste famiglie, della stessa età, in assenza della mutazione (*non mostrato*).

L'imaging di risonanza magnetica, un'altra tecnica utilizzata nell'ambito della sperimentazione colombiana, è in grado di rivelare l'eventuale riduzione del volume cerebrale del soggetto fino a dieci anni prima della diagnosi (*in basso*).

Cortesia Eric M. Reiman Banner Alzheimer's Institute (*scansioni cerebrali*)

La sperimentazione

Denominata «Alzheimer's Prevention Initiative», la sperimentazione è particolare sotto diversi punti di vista. È condotta al di fuori dei confini sicuri dei grandi centri ospedalieri di Boston o di San Francisco, e né Lopera né l'Università di Antioquia avevano alcuna precedente esperienza di trial clinici, per non parlare della stesura di protocolli per una ricerca ancora in via di evoluzione, destinata a determinare l'efficacia di un farmaco nell'arrestare una malattia fino a 15 anni prima della comparsa dei sintomi.

«In genere nessuno crede che sia possibile portare avanti un progetto ambizioso di questo tipo in America Latina», sostiene Lopera. La Banner «ha creduto in noi, e questa è stata una fortuna: abbiamo mostrato di essere in grado di lavorare con loro in maniera seria, e da questa certezza è dipeso il felice inizio di questo processo».

Alla fine del 2013 il gruppo di ricerca ha iniziato la somministrazione del farmaco ai partecipanti dello studio, in gran parte di età tra 30 e 50 anni. Il reclutamento non è ancora terminato, ma l'obiettivo è la somministrazione del crenezumab per via sottocutanea a 100 portatori della mutazione Paisa (sono previsti anche due gruppi di controllo con placebo, costituiti da 100 portatori e 100 non portatori), che proseguiranno i controlli per un periodo di cinque anni. Le scansioni cerebrali e i prelievi di liquido cerviconspinale permetteranno di capire se il farmaco ha arrestato l'accumulo di beta-amiloide, mentre i test psicologici controlleranno l'eventuale declino cognitivo.

Se il crenezumab fosse in grado di alterare il decorso della malattia, sarebbe un enorme passo avanti nella medicina dell'Alzheimer. Altre sperimentazioni potrebbero iniziare a studiare la possibilità che il farmaco sia efficace anche in persone anziane sane prive della mutazione Paisa, ma le cui scansioni cerebrali mostrano modificazioni patologiche agli stadi iniziali.

I rapporti che Lopera e i colleghi hanno coltivato con le famiglie affette nel corso degli anni sono stati fondamentali per reclutare i pazienti nella sperimentazione e far sì che vi rimanessero. Per loro, Lopera è una sorta di figura paterna. Lo scorso novembre, quando venne a sapere che alcuni giornalisti avevano intenzione di pubblicare i cognomi dei pazienti intervistati, si oppose fermamente, anche se avevano ottenuto il permesso. Lopera spiegò che avrebbero gettato un'ombra sul nome della famiglia, anche a danno di chi non era portatore della mutazione, creando un ostacolo a quei membri che avessero voluto stipulare un'assicurazione, o sposarsi.

Le famiglie colombiane, con i loro ricordi dei parenti malati che risalgono a parecchie generazioni prima, hanno accettato la sperimentazione senza esitazioni. Shehnaaz Suliman, responsabile Genentech dello studio, è convinta che i partecipanti al trial, molti dei quali devono percorrere lunghe distanze per raggiungere l'ospedale, abbiano maggiori probabilità di presentarsi e ricevere le periodiche iniezioni del farmaco rispetto a un gruppo medio di soggetti arruolati per uno studio negli Stati Uniti o in Europa.

Questa sua convinzione potrebbe essere stata rafforzata da cittadini di Antioquia come Hugo, 40 anni, che lavora nella città di El Retiro, dove si occupa dei cavalli di ricchi proprietari, e ogni due settimane percorre circa 30 chilometri di strada per arrivare a Medellín e ricevere il trattamento: crenezumab o placebo. Né lui né il personale medico che somministra l'iniezione sanno di che cosa si tratti.

Anche se scoprisse di appartenere al gruppo del placebo, Hugo dice di capire l'importanza di queste sperimentazioni: suo padre

e suo nonno sono morti di Alzheimer, che ha colpito anche quattro dei suoi zii, due dei quali deceduti. Hugo ricorda che il padre, dopo essersi ammalato, trascorreva le giornate pulendo in maniera ossessiva le scarpe di tutti i membri della famiglia, e quale ansia angosciosa lo invadesse se perdeva di vista la moglie anche per solo un secondo. «È difficile», ammette Hugo. «È un'eredità che risale a tantissimi anni fa, e bisogna affrontarla a testa alta».

La sperimentazione ha dato a Hugo e alla sua famiglia un brandello di speranza. «Speriamo che questi trattamenti portino a un risultato positivo, e che ci possa essere una cura per i nostri bambini», dice, seduto su una panchina vicino alle stalle in cui lavora. Prende sotto braccio una delle sue nipoti, che a sua volta ha preso il braccio della sorella al fianco.

Nonostante il fardello dell'anamnesi familiare, Hugo e i suoi numerosi parenti, riuniti in un grigio giorno di novembre, sembrano un modello di resilienza psicologica: si punzecchiano l'un l'altro, prendendosi in giro su come dimenticare piccoli dettagli possa essere un primo segno della malattia. Chiedo alla sorella di Hugo, Gudiela, 47 anni, anche lei partecipante alla sperimentazione, se la possibilità di sviluppare la demenza la preoccupa: «Sinceramente no», risponde senza esitazione. «Chi si deve preoccupare è la persona che si prenderà cura di me». Una risposta accolta da grasse risate.

Per quanto riguarda la sperimentazione colombiana, le prime indicazioni di un eventuale beneficio per i portatori della mutazione Paisa arriveranno solo nel 2018, e la sperimentazione si concluderà nel 2021. Non ci sono garanzie che il crenezumab funzioni. A metà del 2014 lo stesso farmaco non ha avuto successo in una sperimentazione clinica condotta negli Stati Uniti su pazienti con Alzheimer da lieve a moderato. Le successive analisi dei risultati,

Partecipazione volontaria: Hugo, 40 anni (*a fronte*), e Gudiela, 47 anni, hanno accolto con favore la sperimentazione. Anche se non ne avessero un beneficio diretto potrebbe aiutare i membri della generazione successiva della famiglia, alcuni dei quali circondano Gudiela.

tuttavia, hanno mostrato che il farmaco potrebbe aver apportato un certo beneficio durante i primi stadi della malattia, ed è proprio per questo che oggi i ricercatori stanno portando avanti la sperimentazione colombiana: per determinare gli effetti della stessa sostanza somministrata con largo anticipo rispetto alla comparsa dei primi sintomi.

E anche se il crenezumab dovesse fallire non tutto sarebbe perduto. Attualment, la sperimentazione è il miglior banco di prova per l'ormai trentennale ipotesi della beta-amiloide, ovvero l'idea che i frammenti tossici della proteina siano la causa della patologia. Se la sperimentazione colombiana non dovesse mostrare alcun beneficio per Hugo, Gudiela e per gli altri membri delle 26 famiglie, e se anche gli altri trial di prevenzione in partenza negli Stati Uniti dovessero fallire, i ricercatori dovranno spostare l'attenzione verso possibili alternative a questa ipotesi, testando farmaci che possano neutralizzare l'accumulo di altre proteine tossiche oltre alla beta-amiloide, tentando di identificare agenti chimici che proteggano i neuroni o che siano coinvolti nei processi chimici che causano l'infiammazione cerebrale.

Anche in questo caso l'infrastruttura creata a Medellín per condurre lo studio sul crenezumab potrebbe continuare a servire gli intenti originari, esaminando nuovi approcci per prevenire la malattia. La capacità di prevedere il momento di esordio della malattia in un determinato paziente nel gruppo con la mutazione Paisa potrebbe continuare a essere uno strumento inestimabile per i farmacologi delle future sperimentazioni. E Medellín sta emergendo come uno dei più importanti centri internazionali per la ricerca sull'Alzheimer, il luogo in cui potrebbe avvenire un sostanziale progresso; una situazione che potrebbe persistere per molti anni.

La città potrebbe avere la forza necessaria perché la struttura sociale di queste famiglie – e la realtà della demenza tra genitori, nonni, zii e zie – continuerà probabilmente ad attrarre partecipanti per le sperimentazioni cliniche. I membri delle famiglie, inoltre, mostrano una naturale inclinazione a prendersi cura delle persone malate, contrariamente alla medicina depersonalizzata troppo spesso praticata negli Stati Uniti e in Europa. Hugo ricorda le brevi passeggiate attraverso il quartiere insieme al padre, tenendogli la mano per assicurarsi che non si perdesse e non fosse più in grado di ritrovare la strada di casa.

Una struttura familiare così coesa assicura che ogni due settimane un contadino, spesso accompagnato dai parenti, si presenti all'ospedale con assiduità per ricevere un farmaco o sottoporsi a una scansione cerebrale. E alla fine la maledizione dei *conquistadores* potrebbe rivelarsi una benedizione mascherata, verso un importante avanzamento per la medicina che potrebbe offrire sollievo ai milioni di persone in tutto il mondo destinate a ricevere una temuta diagnosi. ★

PER APPROFONDIRE

Phoenix: Vision of Shared Prevention Trials Lures Pharma to Table, Part 1. Strobel G., in «Alzforum». Pubblicato on-line il 25 febbraio, 2010. **www.alzforum.org/news/conference-coverage/phoenix-vision-shared-prevention-trials-lures-pharma-table**

Alzheimer's Prevention Initiative: A Plan to Accelerate the Evaluation of Presymptomatic Treatments. Reiman E.M. e altri, in «Journal of Alzheimer's Disease», Vol. 26, supplemento n. 3, pp 321-329, ottobre 2011.

Origin of the PSEN1 E280A Mutation Causing Early-Onset Alzheimer's Disease, Lalli M.A. e altri, in «Alzheimer's & Dementia», Vol. 10, n. 5, pp. S277-S283, ottobre 2014.

Prevenire le ombre dell'Alzheimer. Stix G., in «Le Scienze» n. 504, agosto 2010.

OCEANOGRAFIA

Onde distruttive

Mari mossi: a nord della Russia, le acque aperte vicino alle isole artiche della Terra di Francesco Giuseppe – che in passato avevano una maggiore copertura di ghiaccio – si riempiono di onde.

Gli scienziati inseguono impressionanti cavalloni che frantumano il ghiaccio artico, con effetti climatici ed ecologici di ampia portata

di Mark Harris

IN BREVE

Il tasso di scioglimento del ghiaccio marino in Antartide è più veloce di quanto era stato previsto dai modelli del riscaldamento globale.

La causa potrebbero essere onde giganti, mai osservate prima. Un leggero scioglimento del ghiaccio concede alle onde lo spazio per crescere in dimensioni e forza.

Le grandi onde riescono a frantumare ancora più ghiaccio man mano che si infrangono, liberando altra acqua e creando altre onde.

I mari artici appena aperti potrebbero influire sulle condizioni meteorologiche in luoghi lontani, erodere le coste e mettere a rischio la sicurezza dei paesi.

Mark Harris abita a Seattle e scrive di temi scientifici e tecnologici.

L'estate 2014 nel mare dei Ciukci è stata bizzarra. Le acque artiche, storicamente bloccate dal ghiaccio per gran parte dell'anno, erano stranamente libere. Il ghiaccio era così scarso che 35.000 trichechi si sono arenati sulla costa nord-occidentale dell'Alaska, non avendo trovato lastroni da cui nutrirsi. Una mattina di settembre l'oceanografo Jim Thomson era bordo della nave *Norseman II* per una missione di ricerca, a centinaia di chilometri dalla terraferma, quando ha notato un altro fatto strano: alcuni marinai avevano il mal di mare.

La nausea potrebbe sembrare normale durante una navigazione in alto mare, ma non qui, all'incontro tra il Mare dei Ciukci e il Mare di Beaufort. In questa zona sperduta di solito non c'è spazio per la formazione di onde. In quel momento però le acque erano libere dal ghiaccio e le onde enormi: cavalloni alti quattro o cinque metri che sballottavano la nave ed esplodevano sui suoi ponti. Ma Thomson, esperto lupo di mare, era entusiasta di quell'atmosfera tempestosa. Era venuto a caccia di onde e le aveva trovate.

«Erano più grandi di qualsiasi altra onda misurata, descritta o immaginata nell'Artico», ricorda. Alcuni mesi prima aveva lanciato una piccola flotta di droni acquatici per monitorare i mari e quel giorno cercava di recuperarne uno. «In effetti le onde più alte di tutto l'anno sono state registrate sei ore prima che prendessimo il robot», aggiunge Thomson.

Queste onde potrebbero svelare un mistero importante e sinistro: perché il ghiaccio artico sta scomparendo così velocemente? I modelli climatici basati sulle misurazioni del riscaldamento globale avevano previsto una riduzione più lenta. O i modelli erano sbagliati o accadeva anche qualcos'altro. Oggi Thomson e altri scienziati ritengono che questo qualcosa sia legato alle onde. Lo scioglimento del ghiaccio dovuto al clima ha dato alle onde più spazio per crescere, permettendo ai cavalloni di prendere il sopravvento, aggredire il pack e frantumarlo fino a farlo scomparire.

Le nuove onde gigantesche in questa regione possono avere effetti di ampia portata su scala globale. Le acque artiche circondano il polo e vanno dai mari di Beaufort e dei Ciukci sopra Canada e Alaska, a quelli della Siberia orientale, di Kara e Barents a nord della Russia, fino a quelli di Norvegia e Groenlandia in cima all'Atlantico. In quest'area enorme la copertura di ghiaccio potrebbe influire non solo sull'habitat dei trichechi ma anche sull'andamento delle correnti oceaniche e perfino sulla corrente a getto atmosferica, modificando il clima a migliaia di chilometri di distanza. E se il ghiaccio non protegge più i bordi della terraferma in questa regione, anche il fragile permafrost– che costituisce gran parte della costa – potrebbe essere in pericolo.

Sono questi rischi che nel 2014 hanno portato di nuovo nell'Artico Thomson e altri 100 ricercatori, insieme alla più sofisticata rete di telerilevamento impiegata in acque fredde. Con questo esperimento da molti milioni di dollari, gli scienziati puntavano a scoprire quali effetti potrebbe avere la comparsa di onde giganti sul futuro del più misterioso oceano del mondo.

Esposizione a nord

I ricercatori sapevano da anni che alle loro conoscenze dell'Artico sfuggiva qualcosa di importante. Comunque si rigirassero i numeri, ogni anno la rottura parziale della coltre di ghiaccio era più rapida e diffusa di quanto previsto da qualsiasi modello, perfino considerando livelli estremi di riscaldamento globale. Nel 2007 Julienne C. Stroeve, climatologa presso il National Snow and Ice Data Center a Boulder, aveva sottolineato in un articolo che nessuna o quasi delle simulazioni sull'Artico usate dall'Intergovernmental Panel on Climate Change prevedeva il ritiro del ghiaccio rilevato nella realtà. Una volta perfezionati i modelli, spiega Stroeve, la riduzione del ghiaccio è ancora superiore alle previsioni: «La diminuzione recente è ancora fuori dalla media di tutti i modelli. Non riescono proprio a cogliere che cosa è successo».

È essenziale che i modelli climatici dell'Artico siano precisi. Secondo gli scienziati del Pacific Northwest National Laboratory, se il ghiaccio artico diminuisce, l'energia termica che di solito è confinata sotto di esso può liberarsi in atmosfera. Questo aumento del calore può stravolgere la corrente a getto, quella rapida corrente d'aria ad alta quota che rende i voli dall'ovest all'est degli Stati Uniti più veloci rispetto ai voli in direzione opposta. Secondo alcuni scienziati, la corrente a getto agisce da barriera, impedendo all'aria artica gelida di spostarsi a sud, e i suoi cambiamenti possono provocare eventi meteorologici estremi legati al «vortice polare», come quelli che negli ultimi due inverni hanno congelato le città sulla costa orientale degli Stati Uniti.

I ricercatori della Woods Hole Oceanographic Institution hanno misurato un aumento del volume di acqua dolce nel Mare di Beaufort via via che il ghiaccio si assottiglia e si ritira. Rispetto a quarant'anni fa, oggi c'è il 25 per cento di acqua dolce in più. Se questa calotta di acqua dolce dovesse finire nel Nord Atlantico, potrebbe modificare nettamente le correnti oceaniche. Per motivi

Pagine precedenti: Andy Mann «National Geographic»

Mare senza onde. Quando il Mare di Beaufort nell'Artico è coperto di ghiaccio, l'acqua è piatta e calma. Tuttavia le imbarcazioni fanno fatica a muoversi, compresa questa nave della Guardia costiera degli Stati Uniti.

ancora sconosciuti è accaduto qualcosa di simile negli anni settanta, quando dalla calotta si disperse ghiaccio artico verso sud, scombussolando le correnti che contribuiscono a mantenere in equilibrio le temperature nella regione. Secondo alcuni scienziati, in passato perturbazioni analoghe causarono cambiamenti climatici estremamente rapidi, come un evento di circa 12.000 anni fa che riscaldò la calotta di ghiaccio della Groenlandia di circa otto gradi Celsius in pochi decenni.

La scomparsa del ghiaccio inoltre accelera l'attuale erosione costiera nell'Artico. Le coste di permafrost, dove il sottosuolo costantemente ghiacciato viene a contatto con il mare aperto, ammontano a circa un terzo di tutte le coste della Terra. «L'unica cosa che tiene insieme queste coste è il ghiaccio, e potrebbero erodersi molto velocemente quando non saranno protette dal ghiaccio marino», spiega Hugues Lantuit, geomorfologo presso l'Alfred-Wegener-Institut, un centro di ricerca polare in Germania. Alcune coste lungo il Mare di Beaufort si stanno già ritirando anche di una trentina di metri l'anno.

Questa erosione può cancellare gli insediamenti umani, devastare gli ecosistemi, far sprofondare il suolo e contribuire all'acidificazione degli oceani e al riscaldamento globale. Sciogliendosi, il permafrost libera carbonio proveniente da piante, animali e microrganismi che erano congelati al suo interno. Questa materia organica si decomporrà e diventerà fonte di anidride carbonica e metano, due gas serra che a loro volta possono acidificare l'oceano e renderlo meno ospitale per le forme di vita marine.

Anche le grandi aziende vorrebbero avere un'idea migliore di quello che accade al ghiaccio. I produttori di petrolio e gas tengono d'occhio le nuove possibilità di trivellamento in acque prima ghiacciate. E se si riuscirà a prevedere con precisione la quantità di ghiaccio sciolta in una stagione, si potrebbe usare il leggendario passaggio a nord-ovest per ridurre di una settimana la durata dei viaggi dal Pacifico all'Atlantico. Il ghiaccio mancante inoltre ha attirato l'attenzione della Marina militare degli Stati Uniti, anche per quello che implica in termini di sicurezza l'aprirsi di un nuovo oceano al confine settentrionale del paese. Insomma, ci sono molti motivi urgenti per scoprire perché il ghiaccio sta scomparendo.

Thomson sospetta che le grandi onde, con la loro capacità di distruggere il ghiaccio, possano spiegare perché le previsioni sono state superate dalla realtà. «Finora le onde non sono state incluse in un modello dei sistemi che consideri oceano, atmosfera, meteo e ghiaccio marino, collegandoli tutti insieme per una previsione migliore», spiega Thomson. «Il processo meccanico è assente». Secondo Lantuit, gli impatti delle onde, sebbene non compresi fino in fondo, potrebbero spiegare il cambiamento delle mappe. «Non c'è ancora un buon modello degli impatti delle onde sulle coste di permafrost – osserva – ma in linea di massima da onde più grandi ci si può aspettare più erosione».

A caccia di grandi onde

Benché i vari modelli non abbiano considerato le onde, gli scienziati sanno da tempo che cosa può fare il mare mosso anche al ghiaccio più resistente. Elizabeth Hunke elabora modelli di oceani e ghiaccio marino per il Los Alamos National Laboratory. Nel 1998, durante un viag-

Esplorazione della zona di scioglimento. Nel 2014, in un'area dell'Artico a nord est dell'Alaska, gli scienziati hanno lanciato una rete di sensori che li aiutasse a capire perché il ghiaccio marino si sta sciogliendo più velocemente del previsto. Il motivo principale potrebbero essere grandi onde che frantumano il ghiaccio.

Daniel J. Cox/Getty Images (*ghiaccio*); cortesia NASA Visible Earth (*dati del mappamondo*); mappa di XNR Productions

gio in Antartide, ha scoperto un raro tratto di acqua libera vicino alla piattaforma glaciale di Filchner-Ronne nel Mare di Weddell. «Guardavo le onde abbattersi sul ghiaccio marino che era fissato alla riva da anni, decenni o forse addirittura da secoli – spiega Hunke – e sebbene il ghiaccio fosse davvero spesso e difficile da rompere, era proprio quello che facevano le onde».

Ma poiché nell'Artico non si erano mai viste onde giganti, nessuno aveva pensato di cercarle o di tenerne conto nei propri calcoli. Le misurazioni allarmanti dell'unica boa di Thomson nel 2012 hanno cambiato tutto. Hanno attirato l'attenzione non solo degli oceanografi ma anche dello U.S. Office of Naval Research, che aveva già deciso di spendere 12 milioni di dollari per scoprire che fine facesse il ghiaccio artico, inaugurando un progetto chiamato Marginal Ice Zone (MIZ). L'estate scorsa la caccia alle onde è entrata a far parte ufficialmente della ricerca.

Il progetto ha riunito oltre 100 scienziati di varie nazioni nel più ambizioso esperimento effettuato per osservare la rottura stagionale della calotta artica di ghiaccio. Qualche anno fa questo avvenimento avrebbe riempito la superficie dell'oceano di rompighiaccio, gli abissi di sottomarini e il cielo di satelliti. Nel 2014, invece, si è trattato di navi piccole, spedizioni brevi e molti droni. Oggi i robot autonomi possono andare dove gli esseri umani non riuscirebbero mai e raccogliere dati 24 ore al giorno, senza un attimo di sosta.

Nella primavera 2014, poco più di un anno fa, gli scienziati sono atterrati sul ghiaccio spesso e gelato del Mare di Beaufort e hanno installato decine di strumenti lungo una linea di quasi 390 chilometri in direzione nord, da circa 73 gradi di latitudine nord verso il polo. Gli apparecchi hanno rilevato spessore del ghiaccio, temperatura e composizione dell'acqua al di sotto e le condizioni meteo al di sopra. Gli strumenti erano tenuti a galla dalla fluttuazione, quindi con la graduale frantumazione del ghiaccio durante l'estate, che li ha fatto cadere uno a uno nell'oceano gelido, hanno continuato a raccogliere dati su acqua e meteo.

Verso la fine di luglio, Thomson e altri cinque scienziati hanno cominciato a lanciare robot più complessi nel Mare di Beaufort. In questo periodo dell'anno il Sole non tramonta mai, e getta un'interminabile luce pallida su un mare increspato e lastroni luccicanti. In quel momento gli scienziati erano forse i navigatori situati più a nord in tutto il pianeta, a oltre 160 chilometri dall'insediamento più vicino. A parte il soffio di qualche balena artica in lontananza, quella zona del Mare di Beaufort è un luogo deserto.

I ricercatori compensavano la mancanza di compagnia umana con quella robotica, che abbondava. Preparavano al lavoro svariati tipi di droni. Alcuni erano le normali boe di Thomson per rilevare le onde, simili alle boe che aveva ancorato da quelle parti nel 2012. Gli altri, molto più complessi, erano Seaglider: droni subacquei a forma di siluro, lunghi circa 1,8 metri, che si muovono in acqua cambiando direzione con un paio di ali regolabili. Ogni Seaglider ha una vescica natatoria esterna, che si può gonfiare per renderla più leggera dell'acqua o sgonfiare per consentire al robot di immergersi. Un Seaglider può percorrere fino a quasi 20 chilometri al giorno, spostandosi su e giù con movimenti arcuati lunghi e armonici.

Una potente batteria permette a ogni robot di funzionare per dieci mesi e aiuta a dirigere il drone mentre scivola in acqua. Quando un Seaglider arriva al punto più in alto della sua traiettoria, per un attimo fa spuntare il naso al di sopra delle onde, come una foca curiosa. Quindi può localizzarsi con il GPS, trasmettere dati ai satelliti in attesa e ricevere nuove istruzioni. Sono stati lanciati quattro Seaglider, che per due mesi sono andati avanti e indietro tra mare aperto e calotta di ghiaccio, rilevando turbolenza, temperatura, salinità e materia organica contenuta nell'acqua.

Quando i Seaglider si trovavano sotto il ghiaccio per lunghi periodi erano isolati dai satelliti che dovevano controllarli. Per mantenerli connessi, gli scienziati hanno usato un terzo tipo di drone, detto Wave Glider, che viaggia in superficie. I Wave Glider, alimentati da pannelli solari e dal movimento ondoso, avanzano fino al bordo del ghiaccio e inviano segnali acustici ai sottomarini. Lee Freitag, ingegnere alla Woods Hole Oceanographic Institution, ha sviluppato un sistema per trasmettere ai Seaglider segnali acustici a bassa frequenza, affidandosi agli strati riflettenti sottomarini che fanno rimbalzare i suoni su lunghe distanze. Sono strati analoghi a quelli creati dalle variazioni di densità dell'acqua che permettono al canto delle balene di attraversare interi oceani. Gli scienziati hanno scelto strati e frequenze diversi da quelli usati dai cetacei del luogo per evitare di disturbarli. I segnali hanno trasmesso ai Seaglider i dati di latitudine e longitudine, e le istruzioni dei ricercatori.

Se il ghiaccio artico diminuisce, l'energia termica intrappolata sotto di esso può liberarsi nell'atmosfera

Questo approccio robotico su vasta scala presenta vari vantaggi rispetto al viaggiare ad alte latitudini a bordo di un rompighiaccio. In primo luogo i robot permettono agli scienziati di coprire un'area più ampia, mentre i rompighiaccio si limitano a un solo percorso, spesso navigando in una direzione a centinaia di chilometri di distanza dall'azione. Wave Glider e Seaglider possono deviare rapidamente per rilevare ogni movimento del ghiaccio mentre si arrende al mare.

Inoltre, i robot avevano bisogno solo di una piccola nave madre: *Ukpik*. «L'*Ukpik* è abbastanza piccola da permettere le manovre», spiega Thomson. «Uno dei maggiori problemi di un rompighiaccio tradizionale è la sua eccessiva grandezza. È come un elefante in una cristalleria e distrugge proprio le onde che cerco di misurare».

Un giorno sull'*Ukpik*, mentre era appoggiato al parapetto della nave dopo avere aiutato l'equipaggio a mettere in acqua un paio di Wave Glider, Thomson ha parlato di come si sviluppano le onde. «Per fare le onde, hai bisogno del vento», ha detto. «Dato il vento, ti servono due cose: tempo e distanza. Se hai più spazio, otterrai onde più grandi, come con una tempesta di lunga durata. Le onde davvero grandi arrivano quando ci sono entrambe le cose».

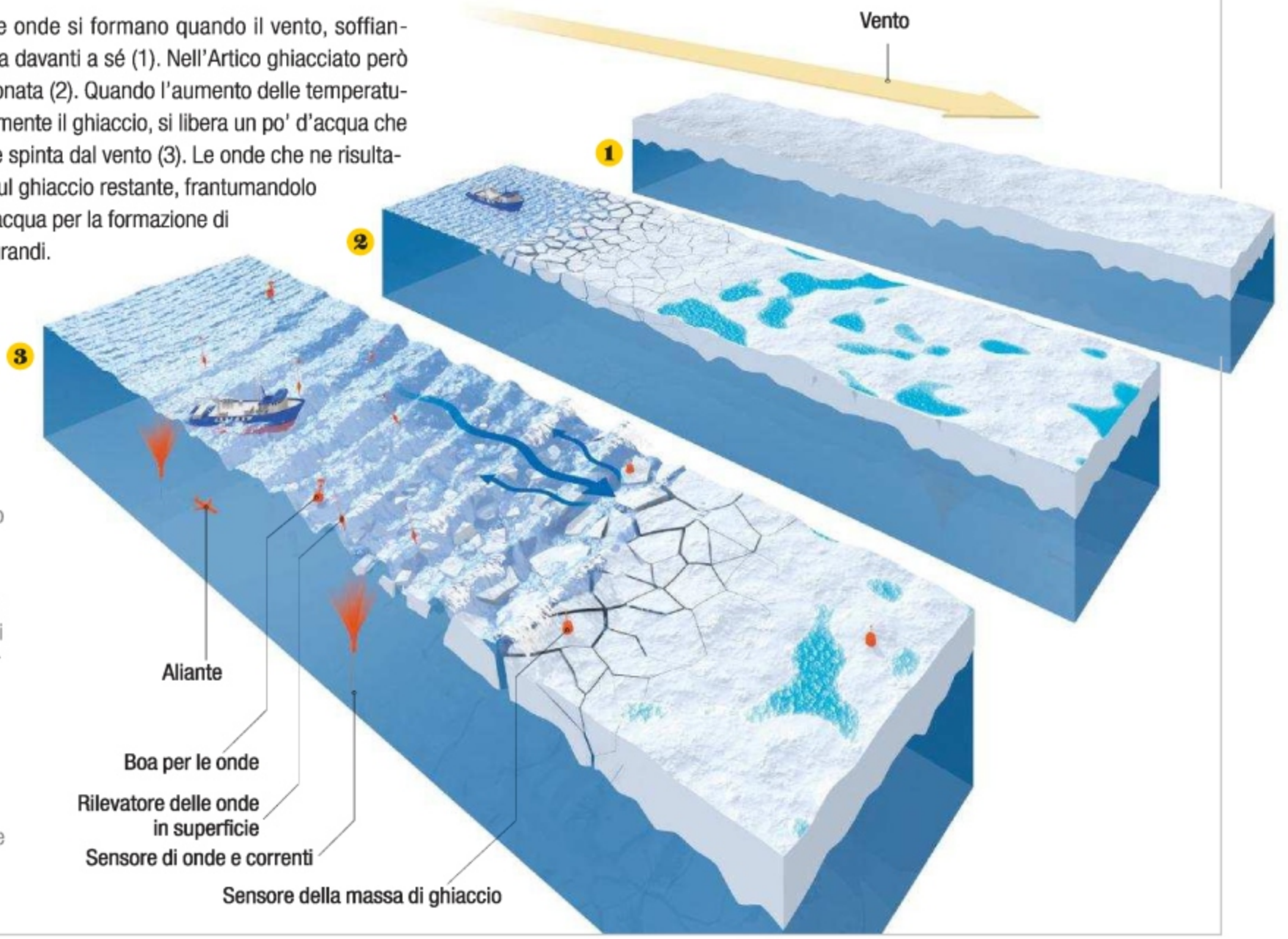
In primavera, anche negli anni più caldi, gran parte dell'Artico è ancora chiusa dal ghiaccio. Entro la fine dell'estate le acque libere coprono un'area grande oltre il doppio del Mediterraneo. Maggiore è la superficie di mare aperto, il cosiddetto *fetch*, più grandi diventano le onde. Il vento spinge l'acqua davanti a sé, e un fetch più lungo dà il tempo di accumularsi a più acqua.

Quando l'acqua è priva di ghiaccio, inoltre, assorbe più calore dal Sole – il ghiaccio lo rifletterebbe – e l'acqua riscalda anche l'aria, il che può provocare ancora più vento. Nelle condizioni giuste, questo abbinamento può frantumare in qualche giorno aree di ghiaccio grandi come intere nazioni. Naturalmente, così si libera ancora più acqua, in un circolo vizioso che rende sempre più facile la formazione di onde grandi.

Non è ancora chiaro quanto di preciso ciascun elemento di questo ciclo contribuisca alla rottura del ghiaccio e se le onde

Come si formano le onde giganti

Vento e acqua: le onde si formano quando il vento, soffiando, sposta l'acqua davanti a sé (1). Nell'Artico ghiacciato però l'acqua è imprigionata (2). Quando l'aumento delle temperature scioglie leggermente il ghiaccio, si libera un po' d'acqua che quindi può essere spinta dal vento (3). Le onde che ne risultano si abbattono sul ghiaccio restante, frantumandolo e liberando altra acqua per la formazione di onde ancora più grandi.



Nel 2014, per indagare sui legami tra ghiaccio e onde, gli scienziati hanno usato gli strumenti qui illustrati, tra cui boe e rilevatori per misurare le dimensioni delle onde, alianti sottomarini per seguire il pack e sensori per rilevare la massa di ghiaccio.

possano rallentare la sua nuova formazione quando si avvicina l'autunno. A questo scopo, gli scienziati devono capire meglio il modo in cui interagiscono le onde e il ghiaccio marino.

Il pack a pezzi

Dopo avere lanciato i droni a luglio, l'*Ukpik* si è imbattuta in un ampio pack di ghiaccio marino, che andava da piccoli pezzi a montagne simili all'iceberg che affondò il Titanic nel 1912. Era il luogo ideale per la caccia alle onde di Thomson, che si è alzato per preparare una boa. La nave si è fermata fuori dal pack per consentirgli di gettarne in acqua una, quindi si è addentrata cautamente nel pack per lanciarne un'altra.

Man mano che la nave avanzava nel pack, era evidente la differenza rispetto al mare aperto, agitato e pieno di onde. Nel momento in cui l'*Ukpik* ha raggiunto i primi pezzetti di ghiaccio in acqua, le onde si sono ridotte a leggere increspature. E quando la nave si è inoltrata nel pack di qualche centinaio di metri, colpendo e aggirando alcuni frammenti più grandi, è rimasto solo un impercettibile tremolio nell'acqua vitrea. «Il ghiaccio filtra le onde in modo che solo le più lunghe riescono ad addentrarsi in profondità», dice Thomson. Una delle cose che Thomson voleva capire era quanto questo filtraggio dipendesse da un effetto chiamato diffusione e quanto da un altro processo, detto smorzamento.

Con la diffusione, il ghiaccio si limita a trasferire l'energia dell'onda senza assorbirla, come un prisma che diffonde la luce. In caso di smorzamento invece l'onda trasmette l'energia al ghiaccio, spostandolo e frantumandolo; un effetto di questo tipo sarebbe il più dannoso per il pack. Per quanto impressionanti siano le onde alte come case in mare aperto, le misurazioni nell'ordine dei centimetri qui eseguite potrebbero essere le più utili per migliorare i modelli dei sistemi artici nei prossimi anni.

Ma quello che Thomson ha già scoperto rende plausibile il ciclo «più onde, quindi meno ghiaccio, quindi ancora più onde», secondo W. Erick Rogers, oceanografo presso lo U.S. Naval Research Laboratory. «Sembra che questo circolo vizioso sia un meccanismo importante per capire quanto ghiaccio marino resterà con il clima più caldo a cui va incontro la Terra», afferma.

Quando l'*Ukpik* ha lasciato il ghiaccio alla deriva per tornare al porto, è stata avvicinata da una piccola barca, pilotata da un pescatore Inuit e suo nipote, che hanno dato all'equipaggio della nave tre pesci per cena: grossi salmerini appena pescati. Il ghiaccio marino artico comincia a ricevere attenzione dal resto del mondo, ma sono queste comunità – e le forme di vita come orsi polari, foche, balene e i microbi sepolti nel permafrost – che già sentono gli effetti della riduzione del ghiaccio e delle onde sempre più grandi. ■

Illustrazione di Bryan Christie

PER APPROFONDIRE

Trends in Arctic Sea Ice Extent from CMIP5, CMIP3 and Observations. Stroeve J.C. in «Geophysical Research Letters», Vol. 39, articolo n. L16502, 28 agosto 2012.

Recent Arctic Amplification and Extreme Mid-Latitude Weather. Cohen J. e altri in «Nature Geoscience», Vol. 7, n. 9, pp. 627–637, settembre 2014.

10000x SE 8.3 — 2 µm — 30.0 kV 1.0

le scienze.it

PER CHI AMA LA SCIENZA, SARÀ LA PIÙ GRANDE SCOPERTA.

LESCIENZE.IT IL SITO TUTTO NUOVO CHE OFFRE UN QUADRO AMPIO, AGGIORNATO E APPROFONDITO SUL MONDO SCIENTIFICO.

L'edizione italiana di "Scientific American" è online con un nuovo sito, arricchito da un notiziario scientifico, dalle pubblicazioni dei ricercatori italiani nel mondo e da una grafica chiara e accattivante. Un punto di riferimento prezioso, per essere sempre aggiornati su tutte le ultime scoperte e ricerche. In più, per chi si abbona alla rivista cartacea, il vantaggio esclusivo di poter consultare senza limiti l'intero archivio di articoli della rivista, dal 1968 ad oggi. Con Le Scienze, nasce un sito tutto da scoprire.

ABBONATI A "LE SCIENZE" E AVRAI ACCESSO A TUTTO L'ARCHIVIO ONLINE.

www.lescienze.it

Le Scienze

edizione italiana di Scientific American

Y&R

La disposizione dei rami antichi e recenti dell'albero (*verde*) è rimasta in gran parte la stessa. Altri gruppi, come i columbidi e pappagalli (*magenta*) hanno invece sperimentato un'importante riorganizzazione basata sulle informazioni genomiche.

Dopo l'estinzione dei dinosauri avvenuta 66 milioni di anni fa, la diversità degli uccelli è cresciuta a dismisura; nei primi cinque milioni di anni è evoluto il 70 per cento dei nuovi lignaggi degli uccelli.

Tutti i principali uccelli terrestri condividono un antenato comune che era un «predatore dominante», un carnivoro in cima alla sua catena alimentare.

Come leggere un albero filogenetico

Questo tipo di albero rappresenta le parentele evolutive tra gli uccelli. I punti di snodo sono gli antenati in comune da cui si ramificano i discendenti. La parentela tra due gruppi è più stretta quanto più vicino è il punto di snodo condiviso.

Apprendisti vocalizzatori

Tre lignaggi di uccelli (colibrì, pappagalli e uccelli canori) hanno evoluto l'abilità di imitare e sviluppare nuovi suoni indipendentemente.

L'antenato comune di tutti gli uccelli completò la transizione denti-becco 116 milioni di anni fa

Falchi e aquile, una volta ritenuti parenti stretti, non sono affatto così vicini: le aquile sono imparentate con gli avvoltoi, i falchi sono vicini ai pappagalli

Piccioni e colombe, che si trovavano nel gruppo dei principali uccelli terrestri, in realtà sono parenti dei fenicotteri

Nuovo albero basato su dati genomici

Uccelli canori
Tyranni
Scriccioli Nuova Zelanda
Pappagalli
Falchi
Cariamidi
Meropidi
Picchi
Bucerotidi
Trogoni
Curol Madagascar
Uccelli topo
Gufi
Aquile
Avvoltoi nuovo mondo
Pellicani
Aironi
Ibis
Cormorani
Fulmari
Pinguini
Strolaghe
Fetonti
Aironi del sole
Pivieri
Gru
Hoatzin
Colibrì
Rondoni
Caprimulgidi
Otarde
Musofagidi
Cuculidi
Mesitornitidi
Pteroclidi
Columbidi
Fenicotteri
Podicipedidae
Galliformi
Anatidi
Tinamidi
Struzzi

Milioni di anni fa: 70 66 60 50 40 30 20 10 Oggi

Vecchio albero basato su dati anatomici

Passeriformi
Coraciiformi
Picchi
Trogoni
Uccelli topo
Apodiformi
Caprimulgidi
Columbiformi
Pappagalli
Cuculiformi
Hoatzins
Falconiformi
Gufi
Pivieri
Ralliformi
Mesitornitidi
Gruiformi
Ciconiformi
Aironi
Pelecaniformi
Balaenicipitiformi
Fulmari
Pinguini
Strolaghe
Podicipedidae
Galliformi
Anatidi
Epiornitiformi
Struzzi
Casuariformi
Dinornitiformi
Apterigiformi
Tinamidi

Guida genetica agli uccelli

L'albero della famiglia aviaria è stato rivisto e rinnovato

La classificazione degli uccelli dal piumaggio e da altre caratteristiche anatomiche è stata di aiuto agli scienziati per diversi secoli, ma le analisi genetiche hanno aperto una nuova finestra sui dettagli riguardanti i legami tra famiglie aviarie. Di recente, un gruppo internazionale di ricerca ha prodotto un albero filogenetico basato sui genomi di 48 specie, che rappresentano ogni principale lignaggio degli uccelli. A oggi è lo studio genetico più accurato di un ramo dell'albero della vita. Lo sforzo massiccio, con oltre 200 collaboratori, include analisi sulla comparsa e la scomparsa di denti, sull'origine dell'apprendimento vocale e sulla tempistica dell'esplosione della diversità aviaria.

Il nuovo albero conferma molte osservazioni passate, come l'antenato comune dei principali uccelli terrestri. Inoltre risolve alcuni legami controversi. Per esempio, chi avrebbe mai detto che piccioni e fenicotteri sono cugini stretti?

Sarah Lewin

Grafica di Jen Christiansen

Fonti: *Whole-genome analyses resolve early branches in the tree of life of modern birds*, di Erich D. Jarvis e altri, in «Science», Vol. 346, 12 dicembre 2014 (*albero di sinistra*); *Higher-order phylogeny of modern birds (Theropoda, Aves: Neornithes) based on comparative anatomy. II. Analysis and discussion*, di Bradley C. Livezey e Richard L. Zusi, in «Zoological Journal of the Linnean Society», Vol. 149, n. 1, gennaio 2007 (*albero di destra*)

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Angoli da smussare

Un principio della teoria dell'informazione sancisce che eventi più rari della media contengono più informazione degli eventi comuni. L'esempio classico è la denuncia sporta in un commissariato degli Stati Uniti, dove l'inquirente, nel raccogliere la descrizione del reo, chiede sempre se fosse bianco o nero; domanda che solitamente non viene posta nei commissariati della Groenlandia. Questo perché negli Stati Uniti il colore della pelle è un'informazione ordinaria, vista la comune diffusione di persone di entrambe le colorazioni: in Groenlandia la distribuzione cromatica è tale da rendere la domanda inutile. Però la quantità di informazione ottenuta dall'inquirente statunitense è parimenti ordinaria, mentre nel caso groenlandese, l'eventuale risposta meno probabile («era un nero»), fornirebbe una quantità straordinaria di informazione. Per questa ragione, se persone non aduse al turpiloquio indulgono in una serie di imprecazioni, è evidente che il momento è decisamente preoccupante.

«Uffa! Uffa! Uffa! ...e uffa!»

Provenendo queste interiezioni da Doc, usualmente poco propenso alla loro pronuncia (si tenga anche in considerazione che il termine «uffa» è il succedaneo pubblicabile di espressioni meno urbane), è facile equipararle a un livello 4 (giallo-alto: probabilità 0,01 di devastazione a livello regionale) della scala Torino.

La cosa accende l'attenzione di Rudy che solleva pigramente lo sguardo dal giornale per dirigerlo verso la cucina, dove l'imprecatore è intento a preparare qualcosa.

«Uffa! Uffa!»

L'ulteriore innalzamento porta il livello ad arancione-medio, corrispondente a probabilità tutt'altro che trascurabile che avvenga una catastrofe planetaria implicante la sparizione del 60 per cento della popolazione globale e la perdita per *tsunami* di tutti i Patrimoni dell'Umanità situati a una quota inferiore ai 2700 metri sul livello del mare. Rudy decide che la situazione è abbastanza grave da meritare l'improbo sacrificio di chiudere il giornale e alzarsi dalla poltrona.

«Per citare un famoso coniglio: "*What's up, Doc*?"»

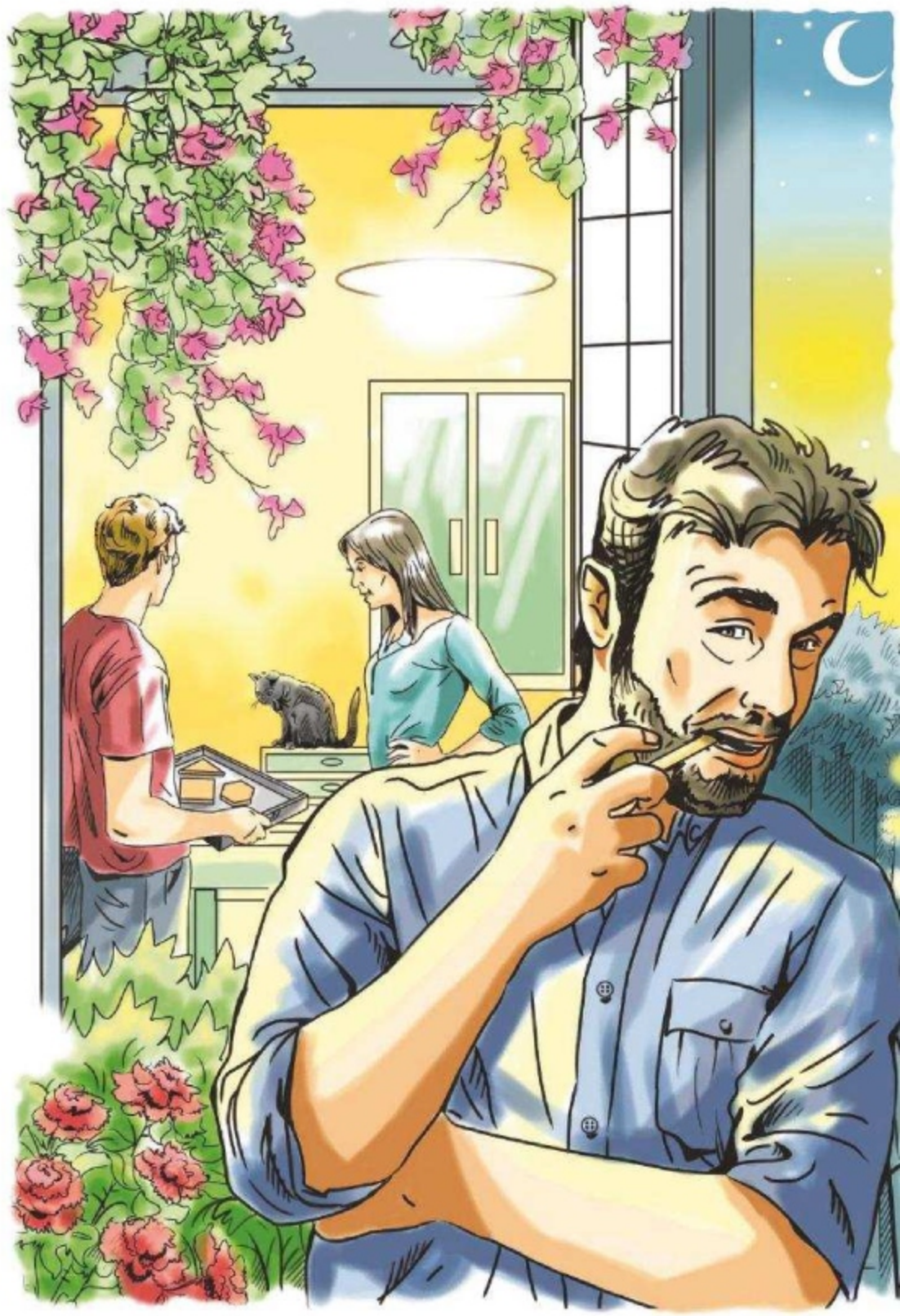
«C'è che mi sono stufato di vivere in una casa dove spariscono cose fondamentali come la granella di nocciole! Ed è sabato sera! E le pasticcerie sono chiuse! E io devo fare i dolci! Uff...»

«Shhht... basta con le parolacce. Arrivare alla sezione rossa della scala Torino mi sembra eccessivo, se la causa ultima del paventato disastro è la granella di nocciole. Alice, puoi venire qua un attimo? C'è un problema di fornitura vettovaglie con annesso psicodramma da risolvere...»

La prima a comparire oltre la soglia della cucina è naturalmente la micia, che associa pavlovianamente il concetto «richiami umani dalla cucina» a quello «ciotole piene da svuotare».

«La spesa l'avete fatta voi – dice Alice arrivando – quindi per favore tenetemi fuori da discussioni isteriche sulla desolazione del frigorifero. Se invece volete sapere se mi sta bene mangiare fuori, d'accordo, ma preferirei una pizza a domicilio.»

«Ecco!», strilla Doc in un rigurgito di isteria e turpiloquio re-



presso. «Sei stata tu a chiedermi di fare questi "dolci didattici", come li hai chiamati, e adesso neppure ti ricordi! Mi lasciate qui a impazzire come la crema che ho appena buttato via, ve ne state spaparanzati a leggere e farvi gli affari vostri, e tutto il contributo che mi date sono considerazioni sulle pizze d'asporto. E che uffa!»

I tre mammiferi non ancora prede di crisi isteriche si scambiano sguardi di intesa. Su muto suggerimento di Gaetanagnesi, è Alice a prendere la parola.

«Su Doc, dai... lo sai benissimo che senza di te saremmo perduti. E sappi che mi ricordo benissimo di averti chiesto di fare dolcetti a forma di poligoni regolari per la mia amica insegnante. E tu sai che ti sono grata, per questo... adesso calmati e raccontami che cosa ti angoscia. La tortina eptagonale all'amarena? Il babà a base quadrata?»

Illustrazione di Stefano Fabbri

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di agosto e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

Doc prepara dolci seguendo forme di poligoni regolari ma è a corto di granella di nocciole con cui tempestarne la superficie

IL PROBLEMA DI GIUGNO

Il mese scorso si esortava a disporre monete in circolo, rimuoverne a turno una di un tipo e rovesciare le contigue. Soprattutto si chiedeva di determinare se una disposizione iniziale casuale potesse portare a rimuoverle tutte. Per farlo, il calcolo delle probabilità non è necessario: basta contare se le facce «rimovibili» sono pari.

Dette C e N le facce Continentali e Nazionali, e ipotizzando che ci sia nella disposizione iniziale almeno una faccia C, la prima mossa consiste naturalmente nel rimuovere una C e rovesciare le due monete contigue. Questa azione cambia la parità della disposizione e trasforma l'anello iniziale in una catena.

Sia ora c il numero delle monete C nella catena: questo sarà pari (2k) o dispari (2k + 1).

Se $c = 2k+1$, esisterà una moneta C che ha un numero pari (o zero) di C da entrambe le parti; è allora possibile prendere quella moneta e lasciare due catene con un numero dispari di C sulle quali applicare la stessa strategia; il modo è ripetibile e consente la vittoria.

Se $c = 2k$, qualsiasi giocata lascerà alla prossima mossa un numero pari di C, riportando a una situazione identica alla precedente: quindi si avrà la certezza di perdere. Poiché la prima mossa ha invertito la parità, il gioco è risolubile se la disposizione iniziale contiene un numero pari di C.

«Buono, calmati», sorride Alice. E mentre sorride non si perita di segnalare l'abbandono quatto quatto della scena del crimine da parte di un felino di sesso femminile. «Allora, solo per essere certa di capire bene: dolci prismi uguali nel gusto ma diversi nella forma...»

«Già, guardali: qui la base è un triangolo equilatero, qua un quadrato, poi pentagono e così via... ho appena finito il dodecagono e non sapevo se procedere oltre, perché non so bene neppure come si chiama, il poligono regolare a 13 lati... ma il problema è risolto alla radice, perché la granella non basta neppure per questi dieci!»

Rudy interviene con la sua migliore aria da saggio: «Siamo pratici, mio buon amico: se per tutte queste belle tortine la granella non basta e non è possibile procurarsene altra, forse si può ridurne la necessità...»

«Non se ne parla! Ci ho messo un giorno intero a fare questi dolci, e adesso vorresti toglierne qualcuno? No! E non provare neppure a dirmi di farli più piccoli, perché sono già minuscoli e non voglio fare la figura del tirchio.»

«Non preoccuparti di questo – sorride nuovamente Alice – al limite la figura dell'avara la farei io. Ma se invece trovassimo il modo di smussare gli angoli delle torte, in modo da ridurne il perimetro e quindi la superficie laterale, e di conseguenza la dose di granella?»

Piotr guarda i dolci desolato: «Ma devono anche essere carini! Per salvaguardare l'estetica, l'unico modo accettabile di smussare gli angoli sarebbe quello di farlo mediante archi di cerchio: e per non ridurre tutto a uno spettacolo orrido da pasticcere da *talent show*, bisognerebbe stare attenti a massimizzare il rapporto area-perimetro di ogni tortina. Ti rendi conto di che razza di calcoli dovrei fare?»

Rudy apre la finestra del balcone ed esce a caricare la pipa.

«Smussare angoli, sia geometrici che isterici. Roba da matematici e da saggi... un lavoro per me, insomma.»

«Vuoi dire che mi farai i conti per arrotondare in maniera opportuna ogni angolo di tortina, e farai bastare la granella?», chiede Doc speranzoso.

«Come sarebbe a dire "farai i calcoli"? Li ho già fatti! Con chi credi di parlare?»

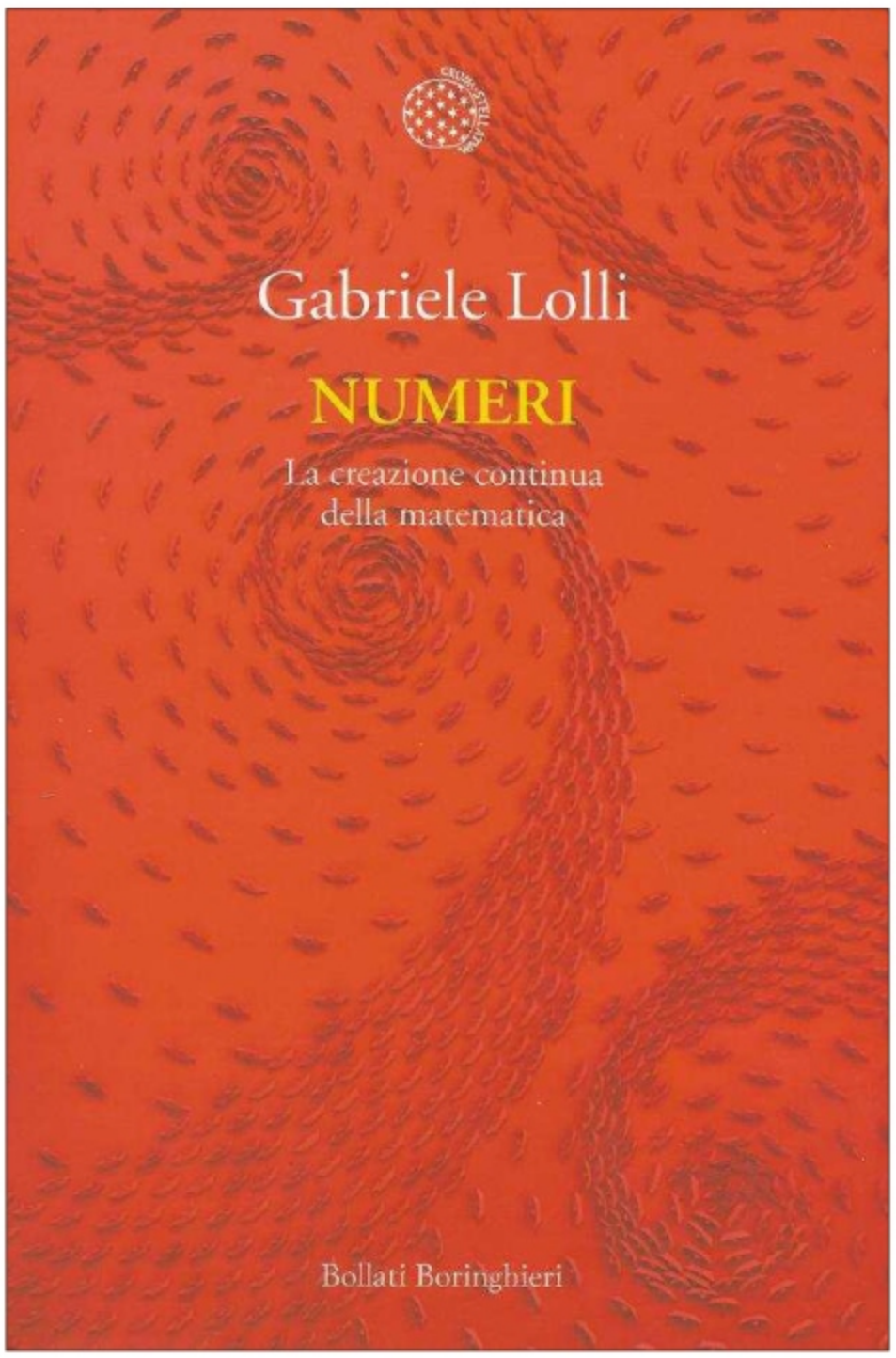
«Umpf. Va bene. Piantala con quel tono un po' troppo condiscendente e ti spiego. Però scordati l'idea di avere semifreddi, babà, meringhe e altra roba diversa. Il tipo di dolce è sempre lo stesso: deliziosa torta a base di panna cotta e budino al cioccolato, che per fare figure geometriche precise mi serve qualcosa ben sagomabile. Tutte della stessa altezza, per ottimizzare omogeneità ed estetica: insomma bassi prismi a base poligonale, con faccia superiore guarnita di cioccolato e superfici laterali trionfalmente tempestate di granella di nocciole.»

«Splendidi!», commentano entusiasti a una voce Rudy, Alice e Gaetanagnesi.

«Splendidi un accidente – ringhia Piotr – la granella non basta! Ce n'era in abbondanza, ma qualcuno deve averla saccheggiata senza avvisare, e se lo becco...»

L'evoluzione del numero

Numeri
di Gabriele Lolli
Bollati Boringhieri, Torino, 2015, pp. 138 (euro 14,00)



Nonostante siano vecchie di 23 secoli, alcune definizioni di Euclide hanno ancora una stupefacente capacità di illustrare le caratteristiche dell'oggetto definito. Chiamare il punto come «ciò che non ha parti» è di una forza evocativa sorprendente: l'atomo della geometria è definito per sottrazione, quasi negandone la realtà, annullandone ogni dimensione, eppure al tempo stesso confermandone l'esistenza e predisponendosi a gettare per suo tramite le fondamenta dell'edificio geometrico. Gran parte della matematica, anche quella moderna, continuerà a fare i conti con questo fragile equilibrio tra il nulla del punto e l'infinito che compare subito dopo, nella retta che da infiniti punti è formata.

Alcune definizioni, si diceva: ma non tutte. La definizione di numero non è altrettanto gratificante: «Numero è una molteplicità composta di unità». Si tratta di una definizione davvero povera di contenuto: in parte perché circolare, dato che rimanda al termine «molteplicità» la sostanza del concetto che dovrebbe definire; in parte perché limitata: è evidente che Euclide, nello scriverla, aveva in mente i numeri naturali, i soli che riteneva degni della qualifica di «numero».

Del resto i numeri, nella loro lunga e molteplice storia, sono riusciti a sfuggire ai tentativi di definizione non solo di Euclide, ma di tutti coloro che hanno provato a ingabbiarli in un recinto di parole. Nella storia, hanno cambiato frequentemente forma e natura, pur rimanendo senza dubbio «numeri», e raccontare l'evoluzione continua e liquida del concetto base del calcolo equivale a ripercorrere l'evoluzione del pensiero matematico. Non a caso, il sottotitolo del libro dedicato ai numeri di Gabriele Lolli recita: *La creazione continua della matematica.*

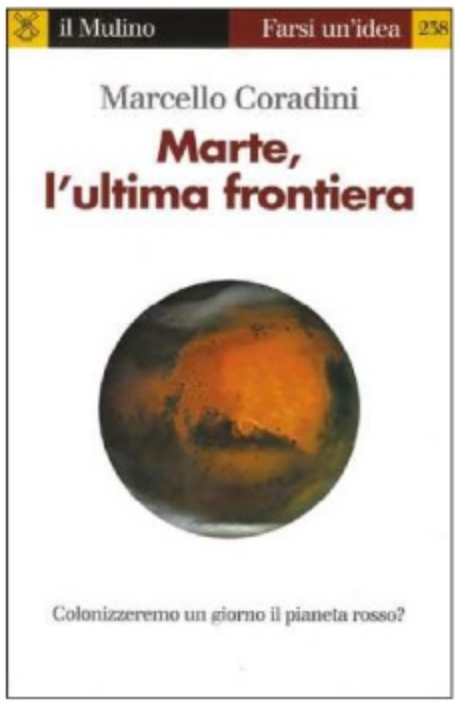
E di creazione davvero si tratta, anche se è creazione costantemente illuminata da un principio guida, quello dell'induzione matematica. La prima scintilla, ricorda Lolli citando il matematico e filosofo britannico Alfred North Whitehead, si perde nella notte dei tempi, quando qualcuno ha riconosciuto l'analogia esistente tra «sette giorni» e «sette pesci»: l'estrazione di un concetto comune, così fragile e impalpabile, tra due gruppi di oggetti diversi resta una delle maggiori conquiste dell'umanità. Un pensiero rivoluzionario e sorprendente, come è stata rivoluzionaria e sorprendente ogni creazione di un nuovo sistema numerico. Dai numeri naturali, fatti apposta per contare le cose tangibili, ai negativi, che contano cose che non si possono toccare; dai razionali, trionfo della geometria greca che vive di rapporti e relazioni, allo scandalo delle grandezze geometriche che rifiutano di farsi rappresentare da un rapporto di numeri interi.

L'induzione suggerisce che alcune proprietà possono generalizzarsi, e infatti ogni ampliamento del concetto di numero porta ricchezza e potenza di calcolo, anche se spesso costringe alla rinuncia di qualche altra proprietà, e certo all'abolizione di più di un pregiudizio. Come i negativi aprono le porte verso l'infinito a sinistra dello zero, gli irrazionali nati dall'incommensurabilità della diagonale e del lato del quadrato aprono le porte del «continuo», e lanciano la matematica verso un'avventura non ancora completata; accettare la realtà di quei numeri che un tempo venivano chiamati «immaginari» proprio per negarne ogni legame col mondo reale ha richiesto una straordinaria apertura mentale, ma il passaggio dalla retta dei reali al piano complesso è compensato da una pletora di nuove potenzialità.

E come sempre in matematica, le strade aperte mostrano nuovi paesaggi e nuovi sentieri: Lolli ricorda come sia difficile che i libri di testo degli studenti vadano oltre i numeri complessi, ma la proliferazione numerica non è terminata: se in ultima analisi «i numeri sono parole», come sostiene l'autore, è indubbio che il dizionario destinato a contenerli continui a crescere senza sosta: quaternioni, ottonioni, strutture, p-adici, surreali popolano oggi la matematica moderna, e l'arricchiscono di caratteristiche nuove, per ora accessibili solo agli addetti ai lavori: perché, proprio come l'evoluzione degli uomini e dell'universo, anche quella dei numeri e della matematica è tutt'altro che conclusa.

Piero Fabbri

Quello che sappiamo del Pianeta Rosso



Marte, l'ultima frontiera
Marcello Coradini
il Mulino, Bologna, 2015,
pp. 148, più inserto di 16 pp. a colori
(euro 11,00)

Dalle osservazioni di Marte effettuate da Tycho Brahe, che permisero a Keplero di formulare le leggi sul moto dei pianeti, fino ai «canali» osservati da Giovanni Schiaparelli e «confermati» da Percival Lowell, il Pianeta Rosso mantiene ancora oggi vivo l'interesse nei suoi confronti, perché, per molti astronomi, se vita deve esserci oltre la Terra, questa deve trovarsi su Marte. Ecco spiegato il motivo delle decine di missioni spaziali rivolte verso quel pianeta. Molte delle quali fallimentari, certo, ma con alcune, in particolare statunitensi, capaci, negli ultimi quarant'anni, di offrirci un volto nuovo del pianeta rosso.

Coradini, oggi coordinatore dei programmi dell'Agenzia spaziale europea al Jet Propulsion Laboratory di Pasadena, è stato protagonista di importanti studi sul pianeta, e ripercorre quello che sappiamo oggi su Marte: dalla geologia, all'evoluzione dell'atmosfera, fino alla complessa ricerca di acqua liquida, che forse abbondava sulla sua superficie fino a tre miliardi di anni fa e che adesso, se c'è, deve trovarsi soprattutto nel sottosuolo. Proprio nel sottosuolo quindi si sospetta possano ancora trovarsi forme di vita, fossili o attive, che si spera le prossime missioni riescano a scoprire. Ma l'autore cerca anche di rispondere alla domanda: colonizzeremo un giorno il Pianeta Rosso? La risposta, basata sulle nostre attuali conoscenze, costringe a frenare i facili entusiasmi. Ci andremo, un giorno, ma non prima di aver colonizzato Marte – freddo, arido, con un'atmosfera rarefatta e privo di campo magnetico – con numerose missioni robotiche in grado di preparare l'ambiente per l'arrivo delle missioni umane. Insomma, prima di diventare marziani dovremo aspettare ancora molto tempo.

Emiliano Ricci

Einstein e la ricerca di una «teoria del tutto»

Marmo pregiato e legno scadente
di Pietro Greco
Carocci Editore, Roma, 2015,
pp. 152 (euro 15,00)

Nel campo della divulgazione scientifica si è soliti dire che per ogni formula inserita in un libro si perde metà dei lettori. Non è evidentemente d'accordo Pietro Greco, giornalista scientifico e noto saggista, che sceglie di partire, nella sua esposizione, proprio da una formula: l'equazione che riassume la relatività generale, presentata esattamente 100 anni fa, nel 1915. Una scoperta fondamentale, ma che lasciò insoddisfatto Einstein, che definì la sua equazione come il disarmonico accostamento di marmo pregiato (il primo membro, che descrive il campo gravitazionale come curvatura dello spazio-tempo) e legno scadente (il secondo membro, che gli appariva solo il rozzo sostituto della rappresentazione di tutte le proprietà note della materia). Nel tentativo di rendere anche il legno scadente marmo pregiato, ovvero nella spasmodica ricerca di una teoria del tutto, si consumerà la seconda parte della vita di Einstein, fino agli ultimi appunti sulla teoria unitaria dei campi trovati accanto al suo letto di morte.

Il fallimento di un genio arroccatosi ormai su posizioni reazionarie? Assolutamente no, sottolinea Pietro Greco, che mette in rilievo come dagli sforzi titanici di Einstein si siano originate le più importanti sfide della fisica contemporanea. Tra i punti di forza del saggio, a parte il ribaltamento di prospettiva sulla seconda parte dell'opera di Einstein, vi è la forma, che accompagna efficacemente il lettore nella comprensione delle complesse questioni fisiche trattate, ritornando più volte sui concetti per chiarirli. Interessante anche il fatto che si sottolinei l'inscindibilità del rapporto scienza-filosofia, in un'epoca in cui spesso si tende a una sterile contrapposizione tra cultura umanistica e scientifica.

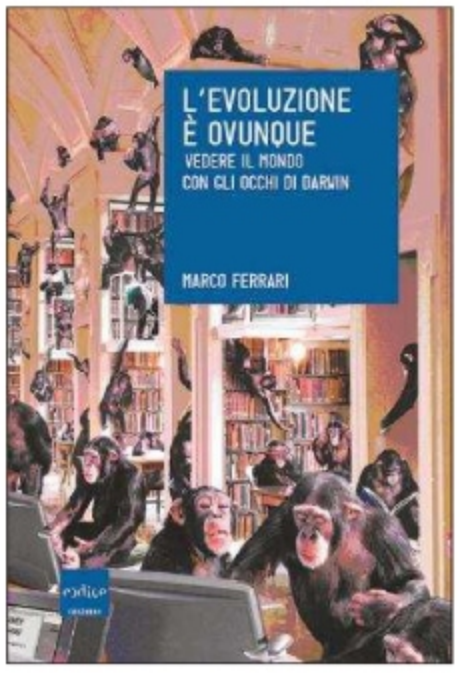
Anna Rita Longo

Cortesia Costa Edutainment

L'immaginario horror del mondo marino

C'è stato un tempo non molto lontano in cui il mare era un luogo degli orrori. Abissi abitati da creature mostruose, navi fantasma e anche il pericolo intrinseco e a volte foriero di catastrofi della navigazione hanno ispirato diversi ambiti della cultura popolare, dalla letteratura al cinema. Proprio a questo immaginario *pop* marino è dedicata la mostra *Mare Monstrum*, che è possibile visitare al Galata museo del mare di Genova, dal 26 giugno all'8 gennaio 2016.

La mostra è articolata in una serie di isole tematiche attraverso cui i visitatori possono immergersi negli abissi abitati da creature mostruose e navi maledette, e possono anche viaggiare lungo rotte sconosciute che solcano mari veri o immaginari sperimentando in questo modo la pericolosità dell'ignoto. Il tutto è accompagnato da opere, video, libri e reperti di biblioteche e musei genovesi. Sono in programma anche una serie di incontri, in collaborazione con l'Università degli Studi di Milano, con studiosi italiani e stranieri che aiuteranno a decodificare questo immaginario *horror*. E volendo, una volta terminata la visita alla mostra, ci si può tuffare nel vero mondo marino che è ospitato dal vicino acquario. (*cb*)



L'evoluzione è ovunque
di Marco Ferrari
Codice Edizioni, Torino, 2015,
pp. 222 (euro 16,00)

Vedere il mondo con gli occhi di Darwin

Il ghepardo di rado fallisce un inseguimento. I polmoni voluminosi, la lunga coda che lo bilancia, le gambe snelle ed elastiche, la schiena flessibile ne fanno una micidiale macchina da corsa. Con la sua velocità è «perfettamente adattato» alla savana. Così almeno vorrebbero certi documentari. Mostrare perché non è così, perché il concetto di «perfettamente adattato» non ha senso, e quali sono invece le idee e le ragioni di fondo dell'evoluzionismo, è il filo conduttore del libro del giornalista di «Focus» e biologo Marco Ferrari. Dal ruolo del caso nell'evoluzione alla sopravvivenza del più adatto, «molte delle caratteristiche che attribuiamo alle idee di Darwin sono lontane dal suo pensiero» o sono fraintese, mentre «alcune delle intuizioni più brillanti del naturalista inglese e degli evoluzionisti del XX secolo non sono neppure conosciute».

Chiarita la cornice e sfatati un po' di equivoci, tra funghi che popolano solo il retro delle elitre di un coleottero che vive in caverne della Francia meridionale, e coniugi inglesi vissuti per decenni alle Galapagos che hanno osservato l'evoluzione dal vivo, arriva poi la parte più gustosa: i mille ambiti in cui vediamo i meccanismi evolutivi all'opera, spesso senza accorgercene. «Dalle cellule all'universo, dai ghepardi alle antenne, dai polli alla mente, le lenti darwiniane possono essere usate in quasi ogni occasione per spiegare che cosa accade, per prevedere le conseguenze delle nostre azioni, per adottare politiche avvedute».

Se la medicina darwiniana è ormai abbastanza nota, meno usuale è forse interpretare in chiave evolutiva le scelte di conservazione, per salvaguardare non solo ambienti e specie chiave ma anche il loro potenziale evolutivo, indispensabile alle sfide future. O interrogarsi con gli occhi di Darwin su certe difficoltà nel migliorare le rese agricole, pur con le più precise manipolazioni genetiche. In un'ottica di agricoltura darwiniana – ben sapendo che l'evoluzione è un mago del bricolage, che inventa di continuo nuovi usi per i materiali che ha – non sorprende che, per quanto si possa modificare una molecola fotosintetica, si rischi spesso di interferire con altri compiti per cui la stessa molecola è stata arruolata. L'evoluzionismo trascende poi i confini della biologia, se i suoi principi si applicano anche per migliorare software, algoritmi o robot. Il libro non è rivolto a studiosi, professori universitari o raffinati teorici che delle ragioni di Darwin sono già convinti, scrive Ferrari, ma ai curiosi che sull'evoluzione vogliono capirne di più. Per costoro, è un libro perfettamente adatto.

Giovanni Sabato

La scienza in vetta
di Jacopo Pasotti
Codice Edizioni, Torino, 2015,
pp. 200 (euro 16,00)

Quando la scienza arriva su in montagna

Se siete alle prese con il dilemma estivo «mare o montagna?» che divide le coppie e spacca le famiglie, una buona idea per sciogliere il dubbio è prendere in mano questo libro. Almeno così non vi limiterete a sciorinare i soliti argomenti tipo «in montagna mi deprimo perché il pomeriggio piove sempre» ma potrete intrattenere figli, fratelli, genitori o amici raccontando di correnti termiche, brezze anabatiche e catabatiche e umidità relativa. Il libro scritto dal geologo e giornalista scientifico Jacopo Pasotti è un buon vademecum da leggere distesi su un prato mentre si contempla la bellezza delle Dolomiti e magari si vorrebbe saperne di più sull'origine di tanto splendore e scoprire quanta scienza si nasconde tra le rocce su cui passeggiamo o sulle nevi che ci permettono lunghe sciate.

Di sotto, di dentro, di fuori e di sopra: la montagna è raccontata in queste pagine esplorandola nelle sue molte dimensioni. Le dinamiche geologiche che hanno spinto in alto antiche rocce come quelle del Cervino, nato come il resto delle Alpi dallo scontro tra la placca africana e quella euroasiatica. I modi per misurare l'altezza delle vette più elevate. Nel caso dell'Everest già nell'Ottocento i genieri britannici stabilirono, a forza di gambe e trigonometria, un'altitudine di 8840 metri, giusto una decina in meno di quella misurata oggi con il GPS differenziale.

Oltre a scoprire come funziona il ciclo delle rocce, perché le montagne assumono diverse forme e come fanno animali come gli stambecchi e i camosci a cavarsela in ambienti dove noi umani siamo più impacciati, Pasotti fornisce anche preziosi consigli da tenere a mente quando si va in alta quota per evitare di rimanere vittime del mal di montagna, e che cosa fare quando l'altitudine o il gelo ci creano problemi.

In montagna ci si va per godere la bellezza, ma anche per respirare un'aria da sempre considerata la più sana, eppure Pasotti ci rivela che la sua composizione è ancora da studiare. Ricercatori dell'Università della California hanno effettuato uno studio sistematico su campioni d'aria prelevati in un bosco a 1650 metri d'altitudine per scoprire la presenza di 120 composti di cui una cinquantina ancora sconosciuti, mentre tra quelli noti ci sono composti organici come i terpeni, di cui fanno parte sostanze che producono effetti benefici sull'organismo. In montagna però arrivano anche le sostanze inquinanti prodotte da attività antropiche, e tracce di metalli pesanti si trovano di frequente nei ghiacciai. E osservare da vicino la vita minima che abita anche i luoghi più impervi è un ulteriore invito a proteggere la bellezza della natura in alta quota.

Marco Motta

Fare in Italia si può

A Milano una mostra ripercorre le principali innovazioni tecnologiche italiane che dagli anni sessanta a oggi hanno conquistato il mondo

Aguardarla oggi sembra quasi incredibile, eppure quando fu presentata al grande pubblico della Fiera mondiale di New York tra il 1964 e il 1965, destò un enorme interesse. Ne scrissero con entusiasmo tutti i maggiori quotidiani statunitensi, perché si trattava del primo *personal computer* della storia. Il suo nome era Programma 101, ma qualcuno l'ha battezzata anche Perottina, in onore di Pier Giorgio Perotto che l'ha progettata. A produrla era l'italiana Olivetti, che con la presentazione alla fiera annunciava anche l'entrata in commercio negli Stati Uniti.

Siamo una decina d'anni prima della nascita delle due aziende che avrebbero dominato il panorama informatico dagli anni ottanta: Apple e Microsoft. Non esisteva il concetto di Silicon Valley e l'Italia esportava innovazione tecnologica e idee. Con lo sguardo a quest'oggetto inizia *Make in Italy*, la mostra che ripercorre i cinquant'anni che ci separano da quel momento per raccontare la capacità che il nostro paese ha avuto e ha ancora di innovare nel campo tecnologico.

Organizzata in intervalli temporali decennali – si inizia con gli anni sessanta e si finisce i nostri anni, con una parte dell'esposizione che si può visitare anche all'EXPO in corso a Milano, individuando un filo rosso con New York – *Make in Italy* è un omaggio a italiani fuori dall'ordinario. Adriano Olivetti, *in primis*, che oltre a mettere in commercio P101, sempre negli anni sessanta, sbaraglia il mondo delle macchine da scrivere con Valentine, vincente anche per il *design* di Ettore Sottsass.

Nel decennio successivo si deve citare almeno Federico Faggin che sviluppa Intel 4004: il primo microprocessore monolitico, cioè costituito da un unico circuito integrato, commerciale della storia. Venendo più vicini a oggi, c'è da segnalare Benedetto Vigna che nei laboratori di STMicroelectronics mette a punto l'accelerometro a tre assi che permette di comandare oggetti elettronici con i gesti. Un esempio di applicazione? Il telecomando della *console* Nintendo Wii che può essere usato come racchetta da tennis, mazza da golf o chissà quale altra cosa. Sempre italiana è Arduino, la scheda elettronica *open-source* che è diventata uno standard internazionale e ha dato via a un movimento di innovatori trasversale che sta realizzando prodotti fino a poco fa considerati fuori portata.

Questi e altri oggetti che mostrano un'italianità forse meno *trendy* rispetto alla moda e al *food* (come si usa chiamare il cibo oggi), ma certo ricca di idee, soprattutto in elettronica e informatica, che il mondo non ha esitato ad adottare.

Marco Boscolo

Due sedi. Allestimenti della mostra, che è ospitata da EXPO e Museo nazionale della scienza e della tecnologia di Milano.

Cortesia Mattia Balsamini (*tutte le foto, 2*)

Dove & quando:

Make in Italy – The Exhibition
fino al 16 agosto
Museo nazionale della scienza e della tecnologia
Via San Vittore, 21
Milano
www.museoscienza.org

EXPO Milano 2015
fino al 31 ottobre
Spazio TIM, Padiglione 127
EXPO partner 2
Makeinitaly.foundation/makeinitaly

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

I credenti della Terra cava

Una teoria bislacca afferma che il nostro pianeta non è una sfera convessa

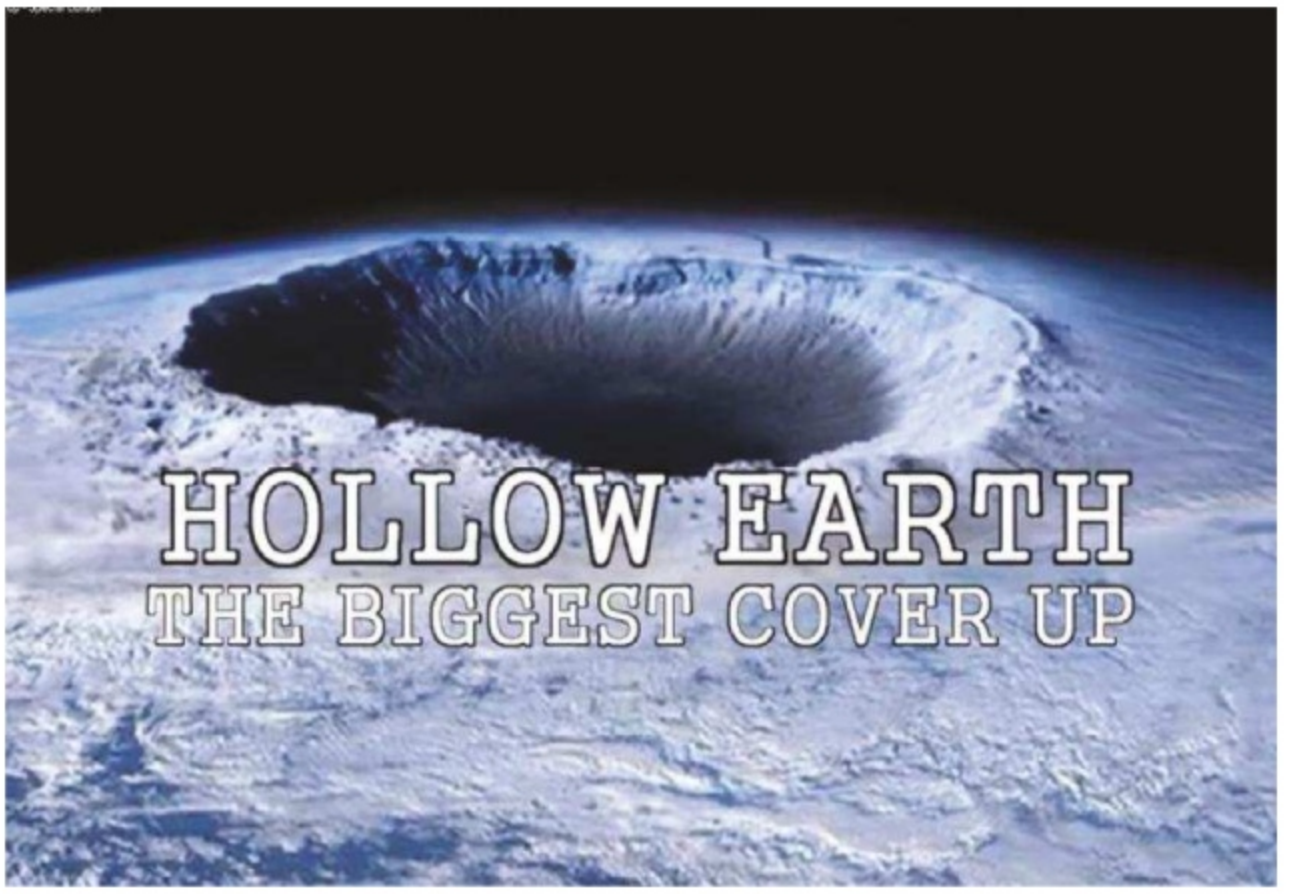
Tutta colpa di Halley. Sì, Edmond Halley, quello della cometa: fu lui, nel 1692, a proporre l'idea che la Terra fosse una sfera cava, costituita da un guscio esterno spesso circa 800 chilometri, da due gusci concentrici interni e da un nucleo centrale, separati da atmosfere e dotati ciascuno di propri poli magnetici. Lo fece basandosi nientemeno che sui *Principia Mathematica* di Isaac Newton, pubblicati nel 1687, per spiegare rilevamenti anomali delle bussole e le aurore boreali, e si innamorò così tanto dell'idea che alla fine della propria vita si fece ritrarre come astronomo di corte mentre teneva un disegno che mostrava la Terra cava in sezione.

Nell'Ottocento l'ipotesi di Halley fu ripresa da John Cleves Symmes, ufficiale dell'esercito statunitense, che aggiunse una variante: ai poli, a quell'epoca inesplorati, secondo lui c'erano varchi, larghi migliaia di chilometri, che permettevano di raggiungere gli altri gusci. Fu deriso da molti, ma riuscì a convincere l'allora presidente degli Stati Uniti John Quincy Adams ad appoggiare una grande spedizione per trovare il varco al Polo Nord, poi annullata dal successore di Adams, Andrew Jackson.

Il concetto della Terra cava fu accolto con ottimi risultati nella letteratura fantastica, da Jules Verne a William Burroughs, e poi in varie pubblicazioni esoteriche e di archeologia alternativa, subendo un'evoluzione ancora più bizzarra: noi abiteremmo sulla superficie interna della crosta del pianeta, che avrebbe al centro il Sole. Tutto l'universo osservabile sarebbe un effetto ottico dovuto alla luce che seguirebbe percorsi circolari e rallenterebbe via via che ci si avvicina al centro della Terra, dove lo spazio sarebbe progressivamente compresso. Assurdo, certo, ma anche il grande Martin Gardner ammise che questo modello non era smentibile empiricamente senza ricorrere al rasoio di Occam.

La prova più celebre di questa presunta concavità della Terra fu annunciata nel 1901, quando due fili a piombo lunghi quasi 1300 metri furono calati nei pozzi verticali della miniera di Tamarack, nel Michigan, e risultò che divergevano in basso invece di convergere verso il centro della Terra. La sorpresa fu enorme al punto che nel 1902 gli esperimenti furono ripetuti ed estesi, scoprendo che l'effetto era dovuto semplicemente alle correnti d'aria nei pozzi e a errori di metodo e misurazione. La spiegazione fu pubblicata su «Science», ma il mito rimase.

Con l'esplorazione e il sorvolo dei poli e soprattutto con le fotografie delle sonde spaziali, che mostrano la Terra come un'evidentissima sfera convessa e priva di buchi ai poli, e con la sismologia che dimostra che la Terra è tutt'altro che cava grazie alla velocità di propagazione delle onde sismiche, ci si potrebbe aspettare che queste teorie si siano estinte. Invece su Internet e nella letteratura pseudoscientifica prosperano e anzi hanno nuova vita, perché c'è chi nota che le mappe digitali di Google Earth, se ingrandite in modo esasperato, hanno lacune ai poli e le interpreta come nuova conferma dei fori d'ingresso alla Terra cava invece che come semplici artefatti di assemblaggio delle immagini.



Buco segreto? Secondo i sostenitori della Terra cava, ai poli ci sarebbero fori di ingresso tenuti nascosti all'opinione pubblica, come da regola nelle teorie della cospirazione.

Come mai queste cosmologie bislacche sopravvivono nonostante l'evidenza schiacciante della falsità che propagandano? Probabilmente perché parte del fascino di queste cosmologie è che rendono l'universo più piccolo, più gestibile, più rassicurante, e ridanno importanza all'essere umano, il cui mondo non sarebbe quindi un sasso insignificante che orbita attorno a una stella come tante altre in un cosmo inconcepibilmente vasto, ma sarebbe letteralmente l'intero universo. E tutto questo è gratificante al punto che porta a ignorare tutti gli altri fatti e a dichiararli falsi. Se non si tiene conto della potenza di questi sentimenti, ogni sforzo di divulgazione scientifica sarà destinato a predicare soltanto ai già convertiti.

Da YouTube/TheMusicmemoryIane

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie, OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello*.

Il limoncello senza segreti

Come preparare il liquore che dalla Campania ha conquistato il mondo

Ci sono prodotti alimentari che per molto tempo, a volte anche secoli, sono conosciuti e consumati solo nella zona di produzione e in aree limitrofe. Poi, all'improvviso, acquistano una fama e si diffondono a macchia d'olio. È il caso del limoncello, un liquore tipico di alcune aree della Campania come la penisola sorrentina, la costiera amalfitana e l'isola di Capri, prodotto con varietà locali di limoni come lo sfusato amalfitano o l'ovale di Sorrento. È un liquore molto semplice da preparare in casa e, dato che ogni famiglia ha la sua, ci sono infinite varianti della ricetta.

A partire dagli anni ottanta questo liquore a base di buccia di limoni è diventato popolare in Italia e all'estero. Servito spesso come digestivo dopo una serata in pizzeria, ora si produce a livello industriale. Se avete la disponibilità di buoni limoni non trattati vi invito a prepararlo, per aggiustare la ricetta al vostro gusto. La buccia del limone, come quella degli altri agrumi, è composta da una parte spugnosa bianca, chiamata albedo, e dalla sottile pelle colorata, ricca di oli essenziali, chiamata flavedo. È solo quest'ultima che ci interessa perché l'albedo è amara e non fornirebbe molti aromi. È invece una buona fonte di pectina, ma di questo parleremo un'altra volta.

Prendete limoni che abbiano la buccia edibile. Lavateli e pelateli con un pelapatate, o un coltello molto affilato, facendo attenzione a togliere solo il flavedo. Ve ne serviranno circa 30 grammi ogni 100 millilitri di alcool etilico per uso alimentare. Immergete la buccia nell'alcool a macerare e lasciate a riposo a temperatura ambiente. Per i miei esperimenti ho usato piccoli vasetti da marmellata a chiusura ermetica. Durante questa fase l'alcool penetra, per diffusione, nel flavedo, sostituendo l'acqua presente che a sua volta esce. L'alcool scioglie gli oli essenziali che lentamente entrano in soluzione. Tenete il recipiente al buio perché alcune delle sostanze estratte sono fotosensibili e si degradano alla luce. Agitate una o due volte al giorno il recipiente per omogeneizzare la soluzione.

Tradizionalmente la macerazione dura da una a tre settimane. Alcuni esperimenti effettuati al Dipartimento di scienze degli alimenti dell'Università degli Studi di Napoli «Federico II» hanno mostrato che in realtà un giorno di macerazione è sufficiente per estrarre i tre componenti principali: limonene, beta-pinene e gamma-terpinene. Per avere però un aroma e un gusto più complesso è necessario estrarre anche aromi secondari, come alfa-pinene o geraniale. I ricercatori hanno scoperto che l'estrazione di questi aromi secondari è completa dopo tre giorni.

A questo punto togliete le bucce e filtrate l'estratto alcolico. È ora di aggiungere lo sciroppo di zucchero. Una ricetta da cui potete partire per variare le proporzioni prevede l'uso della stessa quantità, in volume, di acqua rispetto all'alcool. Per lo zucchero potete regolarvi in base al vostro gusto: partite dall'ottanta per cento, in peso, rispetto all'acqua. Quindi per esempio se avete usato 100 millilitri di alcool aggiungete uno sciroppo fatto da 100 millilitri di acqua e 80 grammi di zucchero. Se lasciate riposare il liquore una settimana, il gusto maturerà grazie alle reazioni che avvengono tra le sostanze estratte.

Via l'albedo. Per ottenere un limoncello di prima qualità, dalla buccia dei limoni va tolta la parte bianca spugnosa, chiamata albedo, che non fornisce aromi.

Oxana Denezhkina/Shutterstock

Dato che la velocità di macerazione dipende dalla temperatura è possibile preparare un limoncello veloce immergendo il barattolo in una pentola dove avrete portato l'acqua a 50 °C. Dopo due ore l'acqua sarà appena tiepida. Togliete il barattolo e procedete come in precedenza. Le temperature più elevate possono però portare a un sapore del liquore un po' diverso. Fate i vostri esperimenti e decidete quale vi piace di più. Il limoncello va servito molto freddo. Potete anche tenerlo nel congelatore: alcool e zucchero gli impediranno di congelare.

Tutta la luce di sempre

di Alberto Domínguez, Joel R. Primack e Trudy E. Bell

Il cielo notturno sembra buio, ma in realtà è colmo della luce di tutte le galassie mai esistite. Studiandola, è possibile quindi esaminare le tracce della storia del cosmo. Gli astronomi sono finalmente riusciti a misurarla osservando come si attenuano i raggi gamma di potenti galassie lontane, dette blazar, quando collidono con i fotoni della luce extragalattica di fondo.

Le meraviglie del cervello adolescente

di Jay N. Giedd

Il cervello degli adolescenti non è un cervello adulto non ancora maturo, ma una realtà a sé stante, caratterizzata da flessibilità e dall'aumento di connessioni tra le regioni cerebrali. Questo ne spiega la propensione al rischio ma anche la capacità di fare salti in avanti nella cognizione e nell'adattabilità.

Animali in rete

di Lee Alan Dugatkin e Matthew Hasenjager

Come noi, gli individui di molte specie animali sono inseriti in complesse reti sociali che influenzano il loro comportamento e quello del gruppo. Applicando tecniche sviluppate per l'analisi delle reti umane, i ricercatori stanno scoprendo i meccanismi che mantengono il buon andamento della vita della comunità.

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 98, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Supervisione editoriale: Daniela Hamaui

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail pbardelli@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - giugno 2015

Copyright © 2015 by Le Scienze S.p.A.

ISSN0036-8083

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong, David Biello, Larry Greenemeier, Ferris Jabr, John Matson

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and associate publisher: Michael Voss;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Chiara Barattieri: *Risolvere la maledizione dell'Alzheimer;* Daniele Gewurz: *La colla che ci tiene insieme;* Lorenzo Lilli: *Onde distruttive*; Cristina Serra: *Nuova minaccia dai poxvirus;* Laura Servidei: *L'ascesa dei tirannosauri;* Alfredo Tutino: *Alla ricerca di una nuova macchina, Chiacchiere cellulari.*

Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali redazionali inviati spontaneamente al giornale non verranno restituiti.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Abbonamenti: abbonamentiscienze@somedia.it
Arretrati e prodotti opzionali: lescienzevendite@somedia.it
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail grandiclienti@somedia.it

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00
Estero	
abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 7827 del 9/2/2015

ESA/Hubble Collaboration/Handout/CNP/Corbis (*stelle*); Craig Lowell/Corbis (*macachi*)

Le Scienze

edizione italiana di Scientific American

SPECIALE ABBONAMENTO

Ogni mese direttamente a casa tua le ultime frontiere della ricerca scientifica e tecnologica.

IN ESCLUSIVA, solo con l'abbonamento, ti assicuri la possibilità di consultare sul **nuovo sito www.lescienze.it** gli oltre **4.200 articoli** pubblicati dal 1968 ad oggi!

E, se vuoi, puoi decidere di **regalare l'abbonamento alle stesse condizioni!**

SCEGLI LA TUA OFFERTA!

DURATA	PREZZO DI COPERTINA	PREZZO PER TE	RISPARMIO
1 ANNO - 12 NUMERI	€~~54,00~~	**€39,00**	€15,00
2 ANNI - 24 NUMERI	€~~108,00~~	**€75,00**	€33,00
3 ANNI - 36 NUMERI	€~~162,00~~	**€99,00**	€63,00

Offerta valida solo per l'Italia

SCEGLI DI ABBONARTI!

- **È CONVENIENTE**
  Più aumenta la durata del tuo abbonamento, più aumenta il risparmio!
- **È COMODO**
  Riceverai Le Scienze ogni mese a casa tua senza alcun costo aggiuntivo e con il prezzo bloccato!
- **È FACILE**
  ✓ Collegati al sito www.ilmioabbonamento.it
  ✓ Chiama il n. 199.78.72.78* **(0864.25.62.66 per chi chiama da telefoni non abilitati o cellulari.)**
  ***Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa).**
  ✓ Compila, stacca e spedisci - anche via fax - la cartolina che trovi nella rivista

OYSTER PERPETUAL MILGAUSS

ROLEX